

MASTERARBEIT

Wirtschaftlichkeitsanalyse bei differenzierter Bedienung im ÖPNV

Freie wissenschaftliche Arbeit
zur Erlangung des Grades „Master of Science“
im Fach Verkehrswirtschaft

Dresden, 14.12.2016

eingereicht von:

Bültemann, Stefanie

Matrikel-Nr.: 3683995

geboren am 25.12.1990 in Wolfenbüttel

Betreuerin: M. Sc. Kathrin Viergutz

Erstprüfer: Prof. Dr. Jörn Schönberger

Zweitprüferin: Prof. Dr. Ulrike Stopka

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
Symbolverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
2 Betriebsformen im ÖPNV	3
2.1 Klassifizierung der Betriebsformen	4
2.1.1 Linienbetrieb	4
2.1.2 Bedarfslinienbetrieb	5
2.1.3 Richtungsbandbetrieb	5
2.1.4 Flächenbetrieb	6
2.2 Voraussetzungen für alternative Betriebsformen	6
2.3 Auswahl der Betriebsform	8
3 Einführung in das Fallbeispiel	11
3.1 Quartiersbus Schorndorf	11
3.1.1 Genehmigung des Verkehrsangebots	12
3.1.2 Modellierung der Strecke des Quartiersbusses	13
3.2 Die Stadt Schorndorf	15
3.2.1 Verkehr	17
3.2.2 Eignung Schorndorfs als Anwendungsfall	18
4 Wirtschaftlichkeitsanalyse am Fallbeispiel	21
4.1 Life Cycle Costing	21
4.2 Ein- und Auszahlungen im ÖPNV mit Bussen	22
4.2.1 Entstehung	23
4.2.2 Nutzung	25
4.2.3 Verwertung	35
4.3 Leistungskennzahlen im ÖPNV	37
4.4 Szenario 1: Linienverkehr	38
4.4.1 Verkehrsangebot in Szenario 1	38

4.4.2	Verkehrsnachfrage in Szenario 1	40
4.4.3	Ein- und Auszahlungen in Szenario 1	41
4.4.4	Wirtschaftliches Ergebnis in Szenario 1	43
4.5	Szenario 2: Linienverkehr mit ergänzendem Quartiersbus	43
4.5.1	Verkehrsangebot in Szenario 2	43
4.5.2	Verkehrsnachfrage in Szenario 2	46
4.5.3	Ein- und Auszahlungen in Szenario 2	46
4.5.4	Wirtschaftliches Ergebnis in Szenario 2	48
4.6	Szenario 3: Quartiersbusse mit ergänzendem Linienverkehr	48
4.6.1	Verkehrsangebot in Szenario 3	48
4.6.2	Verkehrsnachfrage in Szenario 3	50
4.6.3	Ein- und Auszahlungen in Szenario 3	50
4.6.4	Wirtschaftliches Ergebnis in Szenario 3	51
4.7	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse	52
4.8	Sensitivitätsanalyse	55
4.8.1	Erhöhung der Nachfrage in Szenario 2	55
4.8.2	Erhöhung der Nachfrage in Szenario 3	55
5	Zusammenfassung und Ausblick	57
	Literaturverzeichnis	XVII
A	Anhang	XXIII

Abbildungsverzeichnis

2.1	Die Betriebsformen	4
2.2	Potenzial für alternative Betriebsformen nach Personengruppe und We- gezweck	7
2.3	Auswahl der Betriebsform	8
3.1	Strecke des Quartiersbusses in Abhängigkeit von der Fahrgastzahl $g_{h,w}$.	15
3.2	Bevölkerungsentwicklung nach Altersgruppen in Schorndorf	16
3.3	Modal Split im Vergleich	17
4.1	Anteil der Wege im ÖPNV nach Art der Fahrkarte	34
4.2	Linienverlauf in Szenario 1	39
4.3	Tagesganglinien des Fahrgastaufkommens	41
4.4	Bedienungsgebiet und Linienverlauf in Szenario 2	44
4.5	Bedienungsgebiet und Linienverlauf in Szenario 3	49

Tabellenverzeichnis

2.1	Klassifizierung der Angebotsformen	5
3.1	Übersicht über die Bedienungsgebiete des Quartiersbusses	14
4.1	Arbeitszeiten mit Zuschlaggewährung gemäß § 11 I BzTV-N BW	27
4.2	Wirtschaftliche Parameter	36
4.3	Leistungsparameter in Szenario 1	40
4.4	Barwerte der Ein- und Auszahlungen in Szenario 1	42
4.5	Leistungsparameter in Szenario 2	45
4.6	Barwerte der Ein- und Auszahlungen in Szenario 2	47
4.7	Leistungsparameter in Szenario 3	50
4.8	Barwerte der Ein- und Auszahlungen in Szenario 3	52
4.9	Ergebnisse der Szenarien im Vergleich	53

Abkürzungsverzeichnis

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobilclub
alt. Betr.	alternativer Betrieb
ArbZG	Arbeitszeitgesetz
AST	Anrufsammeltaxi
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
BW	Baden-Württemberg
BzTV-N BW	Bezirkstarifvertrag für die kommunalen Nahverkehrsbetriebe Baden-Württemberg
DB	Deutsche Bahn
Destatis	Statistisches Bundesamt
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EnergieStG	Energiesteuergesetz
ErdölBevG	Erdölbevorratungsgesetz
EZB	Europäische Zentralbank
Fz-km	Fahrzeugkilometer
F-Bus	Anrufbus im Flächenbetrieb (ohne Haltestellen)
FPersV	Fahrpersonalverordnung
GPS	Global Positioning System
GVFG	Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz
Hrsg.	Herausgeber

HVZ	Hauptverkehrszeit
IAB	Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung
i. V. m.	in Verbindung mit
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KraftStG	Kraftfahrzeugsteuergesetz
L-Bus	Anrufbus im Bedarfslinienbetrieb
LCC	Life Cycle Costing
LCCA	Life Cycle Cost Analysis
LCM	Life Cycle Management
LGL	Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung
MF	Verkehrstag Montag bis Freitag außer Feiertage
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MSI	Ministerium für Soziales und Integration
MVI	Ministerium für Verkehr und Infrastruktur
NVZ	Normalverkehrszeit
o.J.	ohne Jahresangabe
OPEC	Organisation der erdölexportierenden Länder
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖPV	Öffentlicher Personenverkehr
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
PBefAusglV	Verordnung über den Ausgleich gemeinwirtschaftlicher Leistungen im Straßenpersonenverkehr
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
R-AST	Anrufsammeltaxi im Richtungsbandbetrieb
R-Bus	Anrufbus im Richtungsbandbetrieb

RF-Bus	Anrufbus im Flächenbetrieb (mit Haltestellen)
Sa	Verkehrstag Samstag außer Feiertage
SF	Verkehrstag Sonn- und Feiertag
SGB IX	Sozialgesetzbuch Neuntes Buch
SL	Statistisches Landesamt
SVZ	Schwachverkehrszeit
UITP	Internationaler Verband für öffentliches Verkehrswesen
UStG	Umsatzsteuergesetz
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
Verdi	Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft
VT	Verkehrstag
VVS	Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart
VwV-Fahrzeuge	Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt und Verkehr zur Gewährung von Zuwendungen für die Beschaffung von Fahrzeugen nach dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz / Regionalisierungsgesetz
Zirius	Zentrum für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung

Symbolverzeichnis

$a_{\text{Ansch},i}$	Anschaffungsinvestitionen für Fahrzeug des Typs i
$A_{\text{Antr},t}$	Antriebskosten in Periode t
a_{Ausb}	Kosten des Ausbildungsverkehrs
$a_{\text{Ausst},i,t}$	Ausstattungskosten für Fahrzeug des Typs i in Periode t
$A_{\text{Ausst},t}$	Ausstattungskosten für Fahrzeuge in Periode t
$a_{\text{Diesel},t}$	Dieselskosten in Periode t
a_{F}	Stundenentgelt Fahrdienstpersonal
A_{F}	Fahrdienstkosten
a_{Infra}	Infrastrukturinvestitionen
A_{Instand}	Instandhaltungskosten
$A_{\text{Kap},t}$	Kredittilgung und Zinsen in Periode t
a_{km}	Kilometerabhängige Kosten
a_{Oh}	Kostensatz für Overhead
A_{Oh}	Overheadkosten
a_{Pt}	Stundenentgelt für Personal, das Fahrtanmeldungen entgegennimmt
A_{Pt}	Personalkosten für Fahrtanmeldungen
a_{Reifen}	Kostensatz für Reifenkosten
A_{Reifen}	Reifenkosten
$a_{\text{Rüst},i}$	Rüstkosten für Fahrzeug des Typs i
a_{Schmier}	Schmierstoffkosten
A_{St}	Steuern
A_t	Auszahlungen in Periode t

a_{tglV}	Kostensatz für tägliche Versorgung
A_{tglV}	Kosten der täglichen Versorgung
$a_{\text{Vers},i}$	Versicherungskosten für Fahrzeug des Typs i
A_{Vers}	Versicherungskosten
a_{W}	Monatsentgelt Werkstattpersonal
A_{W}	Jährliche Arbeitskosten für Werkstattpersonal
B	Jährliche Beförderungsleistung
s_{Bev}	Beitrag zum Erdölbevorratungsverband
$b_{w,l,h}$	Anteil der Laufleistung zur Beförderung am Verkehrstag w an der des Verkehrstages MF für Linie l und Zeitintervall h
b_z	Zuschlagssätze für Arbeitszeit
C_0	Kapitalwert in Periode $t = 0$
D	Menge der Dienste
d_{Schule}	Gültigkeitstage der Zeitfahrkarten im Ausbildungsverkehr pro Jahr
d_w	Durchschnittliche Anzahl der Verkehrstage w pro Jahr
$d_{w,t}$	Anzahl der Verkehrstage w in Periode t
e_{Ausb}	Einnahmen aus dem Ausbildungsverkehr
E_{Ausgl}	Ausgleichszahlungen
$e_{\text{Ausst},i}$	Liquidationserlös aus Fahrzeugausstattung für Fahrzeug des Typs i
E_{Fahr}	Einnahmen aus Fahrkartenverkauf
e_{Fk}	Einzahlung durch Fremdkapital
E_{L}	Liquidationserlös
E_t	Einzahlungen in Periode t
$e_{\text{Zusch},i}$	Zuschuss für Fahrzeug des Typs i
f_{a}	Faktor zur Berücksichtigung des Wartungsaufwandes
f_{g}	Faktor zur Berücksichtigung der Fahrplangeschwindigkeit
f_j	Faktor für Wartungsaufwand des Ausstattungsmerkmals j

f_{Neben}	Faktor zur Berücksichtigung der Lohnnebenkosten
f_{r}	Restwertfaktor
$f_{\text{Rohöl}}$	Preissteigerungsfaktor für Rohöl
f_{Schwer}	Faktor für Ausgleichszahlungen für Beförderung Schwerbehinderter
f_{v}	Faktor zur Berücksichtigung des Verkehrsgebiets
f_{w}	Werkstattpersonalfaktor
g	Fahrgast
$g_{h,w}$	Fahrgastanzahl im Zeitintervall h am Verkehrstag w
h	Zeitintervall
i	Fahrzeugtyp
I	Menge der Fahrzeugtypen
j	Ausstattungsmerkmal
k_{Ausb}	Fahrtenanzahl je Gültigkeitstag im Ausbildungsverkehr
k_{Ta}	Kosten des Tankstellenbetreibers
l	Buslinie
L	Jahreslaufleistung
l_{Bef}	Jährliche Laufleistung zur Beförderung
$l_{\text{Bef},i}$	Jährliche Laufleistung zur Beförderung durch Fahrzeug des Typs i
$l_{\text{Bef},w}$	Jährliche Laufleistung zur Beförderung am Verkehrstag w
L_i	Jahreslaufleistung durch Fahrzeug(e) des Typs i
l_{Leer}	Jahreslaufleistung durch Ein- und Aussetzfahrten
$l_{\text{Leer},w}$	Jahreslaufleistung durch Ein- und Aussetzfahrten am Verkehrstag w
m	Anzahl der eingesetzten Quartiersbusse
n_{F}	Anzahl der Fahrerinnen und Fahrer
n_{Fz}	Anzahl der Fahrzeuge
$n_{\text{Fz},i}$	Anzahl der Fahrzeuge des Typs i
p	Diskontierungszinssatz

p_B	Wahrscheinlichkeit der Bündelung von Fahrtwünschen
p_{Fk}	Zinssatz für Fremdkapital
p_k	Komfortzuschlag
p_s	Preis für eine Fahrt mit Fahrkartenart s
p_v	Preis der Zeitfahrkarte v im Ausbildungsverkehr pro Monat
q_s	Anteil der mit Fahrkartenart s zurückgelegten Wege
$q_{Treib,i}$	Treibstoffverbrauch durch Fahrzeug des Typs i
q_v	Anteil der mit Zeitfahrkarte v zurückgelegten Wege im Ausbildungsverkehr
s	Fahrkartenart
$s'_{Bef,u}(g)$	Durch Fahrgast g verursachte Strecke des Quartiersbusses
$s_{Bef,u,h,w}$	Strecke zur Beförderung im Bedienungsgebiet u im Zeitintervall h am Verkehrstag w
s_{En}	Energiesteuersatz für Diesel
$s_{EnÖV}$	Energiesteuersatz für Diesel im öffentlichen Verkehr
$s_{max,u}$	Strecke je Zeitintervall bei durchgehender Beförderung
s_{Mw}	Mehrwertsteuersatz
\bar{s}_R	Mittlere Reiseweite
$\bar{s}_{R,Ausb}$	Mittlere Reiseweite im Ausbildungsverkehr
s_u	Strecke zur Beförderung eines Fahrgastes je Zeitintervall im Bedienungsgebiet u
s_{vMw}	Verringerter Mehrwertsteuersatz
t	laufende Nummer der betrachteten Periode (Jahre)
T	Länge des Lebenszyklus
t_{AZ}	Arbeitszeit im Fahrdienst pro Jahr
$t_{AZ,brutto}$	Bruttoarbeitszeit pro Jahr
$t_{AZ,d,w}$	Arbeitszeit des Dienstes d am Verkehrstag w
$t_{AZ,netto}$	Nettoarbeitszeit pro Jahr

$t_{AZ,w}$	Arbeitszeit im Fahrdienst je Verkehrstag w
t_{Bef}	Beförderungszeit pro Jahr
t_{Leer}	Leerfahrzeit pro Jahr
t_{Pau}	Bezahlte Pausenzeit pro Jahr
t_{Pt}	Arbeitszeit für Fahrtanmeldungen pro Jahr
$t_{Rüst}$	Rüstzeit pro Jahr
t_{sonst}	Sonstige Arbeitszeit pro Jahr
t_{Takt}	Taktzeit
t_{We}	Wendezeit pro Jahr
t_z	Jährliche Arbeitszeit mit Zuschlag z
u	Bedienungsgebiet des Quartiersbusses
U	Menge der Bedienungsgebiete
v	Art der Zeitfahrkarte im Ausbildungsverkehr
v_{Bef}	Beförderungsgeschwindigkeit
w	Verkehrstag
W	Menge der Verkehrstage
x	Anzahl Fahrgäste pro Jahr
x_{Ausb}	Anzahl Fahrgäste im Ausbildungsverkehr je Verkehrstag MF
x_i	Von einem Fahrzeug des Typs i beförderte Fahrgäste pro Jahr
x_l	Von Linie l beförderte Fahrgäste pro Jahr
$x_{w,l,h}$	Anzahl der Fahrgäste am Verkehrstag w in Linie l im Zeitintervall h
y_j	Dualvariable für Ausstattungsmerkmal j
z	Art des Zuschlags für Fahrpersonal
η_{Dp}	Dienstplanwirkungsgrad
η_{Fp}	Fahrplanwirkungsgrad

1 Einleitung

Mehr als 95 Prozent der Fahrgäste im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) werden „im herkömmlichen Linienverkehr mit Bahnen und Bussen befördert“ (Nickel 2010). Nichtsdestotrotz lohnt sich eine genaue Betrachtung alternativer Betriebsformen, welche erstmals Ende der 1970er Jahre nach dem Vorbild der *Dial-a-bus*-Systeme aus den USA in Form von Rufbussen in Deutschland erprobt wurden (Kirchhoff & Tsakarestos 2007).

Durch ihre Flexibilisierung bezüglich Strecke und Uhrzeit der Fahrten richten sich alternative Betriebsformen stärker nach den Anforderungen der Kunden, als dies mit statischen Fahrplänen und festgelegten Linienwegen und Haltestellen möglich ist. Sie finden bisher vor allem in Zeiten und Räumen mit sehr schwacher Nachfrage Anwendung: in ländlichen Regionen, in denen der ÖPNV hauptsächlich die Funktion der Daseinsvorsorge erfüllt. Dort bieten sie das Potenzial, den Teufelskreis aus reduziertem Angebot und verringerter Nachfrage zu durchbrechen und den „Bedürfnissen breiter Bevölkerungsschichten [nach] Individualisierung und Flexibilität“ (Dalkmann & Ötting 2004) in höherem Maße zu entsprechen als der Linienverkehr. Die Idee der Bedarfsverkehre ist demnach nicht neu und hat bereits viele Praxisbeispiele hervorgebracht (vgl. Böhler et al. 2009 b). Auch Online-Buchungssysteme werden teilweise seit fast 20 Jahren eingesetzt und gewinnen zunehmend an Akzeptanz seitens Kunden und Betreibern (Eckardt 2011). Weiterentwicklungen im Bereich der automatisierten Routenplanung und Disposition können die Umsetzung von differenzierter Bedienung jedoch verbessern und veranlassen zu einer Analyse der Wirtschaftlichkeit unter den genannten veränderten Rahmenbedingungen. Grundsätzlich verfügen bedarfsorientierte Angebote über das Potenzial, die Wirtschaftlichkeit gegenüber dem Linienverkehr deutlich zu erhöhen, insbesondere in ländlichen Regionen (Dalkmann & Ötting 2004). Die verbesserten technischen Möglichkeiten sollen dazu beitragen, dass sich das Einsatzgebiet alternativer Betriebsformen erweitert und auch in Regionen mit höherer Bevölkerungsdichte attraktiv wird. Während Verkehrsangebote der alternativer Betriebsform bisher insbesondere von „Zwangsmobilen (captive rider), die zwingend auf ein öffentliches Verkehrsmittel angewiesen sind, genutzt werden“ (Dalkmann & Ötting 2004), soll der Quartiersbus darüber hinaus als relevante Alternative zum Individualverkehr wahrgenommen werden.

Diese Arbeit wird verfasst in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR), welches das Ziel verfolgt, „ein zukunftsweisendes und gleichzeitig praktikables Mobilitätskonzept zu entwerfen“ (DLR 2016). Motivation für die Erpro-

bung der neuen Betriebsform ist dabei nicht allein die ökonomische Notwendigkeit den Kostendeckungsgrad zu steigern, sondern vielmehr eine Qualitätssteigerung für die Fahrgäste zu erreichen. Es soll im Rahmen dieser Masterarbeit szenarienbasiert eine vergleichende Wirtschaftlichkeitsanalyse für eine differenzierte Bedienung im Busverkehr erstellt werden. Dafür wird die Methode des Life Cycle Costing angewendet. Ausgehend vom Linienverkehr, wie er aktuell durchgeführt wird, sollen die Zahlungsströme bei differenzierter Bedienung ermittelt werden. Aus diesem Ergebnis sollen Konsequenzen für deren Voraussetzungen und Einsatzgebiete gezogen werden.

Dafür stellt Kapitel 2 zunächst die verschiedenen alternativen Betriebsformen und deren Anwendungsgebiete vor. Kapitel 3 geht auf das Fallbeispiel, anhand dessen die Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt wird, ein. Zunächst werden die Angebotsform Quartiersbus und ihre Eigenschaften dargestellt. Außerdem wird betrachtet, warum die Stadt Schorndorf sich als Anwendungsfall für den Quartiersbus eignet. Anhand von drei verschiedenen Szenarien analysiert Kapitel 4 die Wirtschaftlichkeit des Busverkehrs und überprüft die Ergebnisse in einer Sensitivitätsanalyse. Abschließend fasst Kapitel 5 die Ergebnisse zusammen.

2 Betriebsformen im ÖPNV

Neben dem Linienverkehr ist im ÖPNV eine Vielzahl an Angebotsformen entstanden, welche in Zeiten und Räumen mit geringer Nachfrage ein Nahverkehrsangebot ermöglichen oder aufrecht erhalten können. Aufgrund der uneindeutigen und teilweise widersprüchlichen Bezeichnungen wird im Folgenden eine Klassifizierung vorgenommen.

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen der konventionellen Betriebsform Linienverkehr und alternativen Betriebsformen. Die konventionelle Betriebsform umfasst „die spurgebundenen Verkehrsmittel und alle straßengebundenen Verkehrsmittel mit den Charakteristika Linienbedienung nach Fahrplan mit eigenen Fahrzeugen“ (Mehlert 1998). Das Personenbeförderungsgesetz (PBefG) definiert den Linienverkehr als „eine zwischen bestimmten Ausgangs- und Endpunkten eingerichtete regelmäßige Verkehrsverbindung, auf der Fahrgäste an bestimmten Haltestellen ein- und aussteigen können“ (§ 42 PBefG). Ein Fahrplan ist ausdrücklich keine Voraussetzung des Gesetzes, wird jedoch von vielen Definitionen vorausgesetzt (vgl. Müller-Hellmann & Nickel 2009; Denig & Sieber 2002).

Fehlt mindestens eine Eigenschaft des Linienverkehrs, so handelt es sich um eine alternative Betriebsform (Hoffmann 1993; Müller-Hellmann & Nickel 2009). Synonyme Begriffe sind u. a. Bedarfsverkehre, flexible, nachfragegesteuerte oder nachfrageorientierte Bedien(ungs)formen (Kirchhoff & Tsakarestos 2007; Müller-Hellmann & Nickel 2009). Im Folgenden wird der Begriff alternative Betriebsformen verwendet. Vom Einsatz eines Pkw über eine Änderung oder Erweiterung des Linienwegs bis hin zu Tür-zu-Tür-Verkehren mit dynamischer Routenplanung weisen die alternativen Betriebsformen einen unterschiedlichen Grad der räumlichen, zeitlichen und kapazitativen Flexibilisierung auf.

Zur Erstellung eines finanzierbaren und gleichzeitig attraktiven Nahverkehrsangebots ist in Schwachlastzeiten und -räumen eine individuelle Verknüpfung von Linienverkehr und verschiedenen alternativen Betriebsformen notwendig (Müller-Hellmann & Nickel 2009). Der Begriff differenzierte Bedienung bildet die Klammer um die konventionelle Betriebsform sowie alternative Betriebsformen. Er beschreibt das Prinzip, das Verkehrsangebot durch eine Kombination verschiedener Betriebsformen auf die situationsspezifischen Anforderungen abzustimmen (Hoffmann 1993).

In dieser Arbeit wird ausschließlich der straßengebundene ÖPNV betrachtet.

2.1 Klassifizierung der Betriebsformen

Zur Klassifizierung der Betriebsformen schlägt Mehler 1998 vier Ausprägungen vor: Linien-, Bedarfslinien-, Richtungsband- und Flächenbetrieb. Diese unterscheiden sich insbesondere darin, inwieweit der Streckenverlauf dem Bedarf angepasst werden kann, dargestellt in Abbildung 2.1. Dennig & Sieber 2002 sowie Böhler et al. 2009 a verfeinern diese Einteilung, indem sie zwischen den sechs Betriebsformen Linienbus, L-Bus, R-Bus, R-AST, RF-Bus und F-Bus unterscheiden. Diese sind in Tabelle 2.1 zusammengefasst. Beide Klassifikationen finden breite Anwendung in der Literatur (vgl. z. B. Böhler-Baedecker et al. 2010; Kagermeier 2004; Kirchhoff & Tsakareastos 2007). Eine Übersicht über bestehende Praxisbeispiele und deren Klassifizierung liefern u. a. Dennig & Sieber 2002 sowie Mehler 1998.

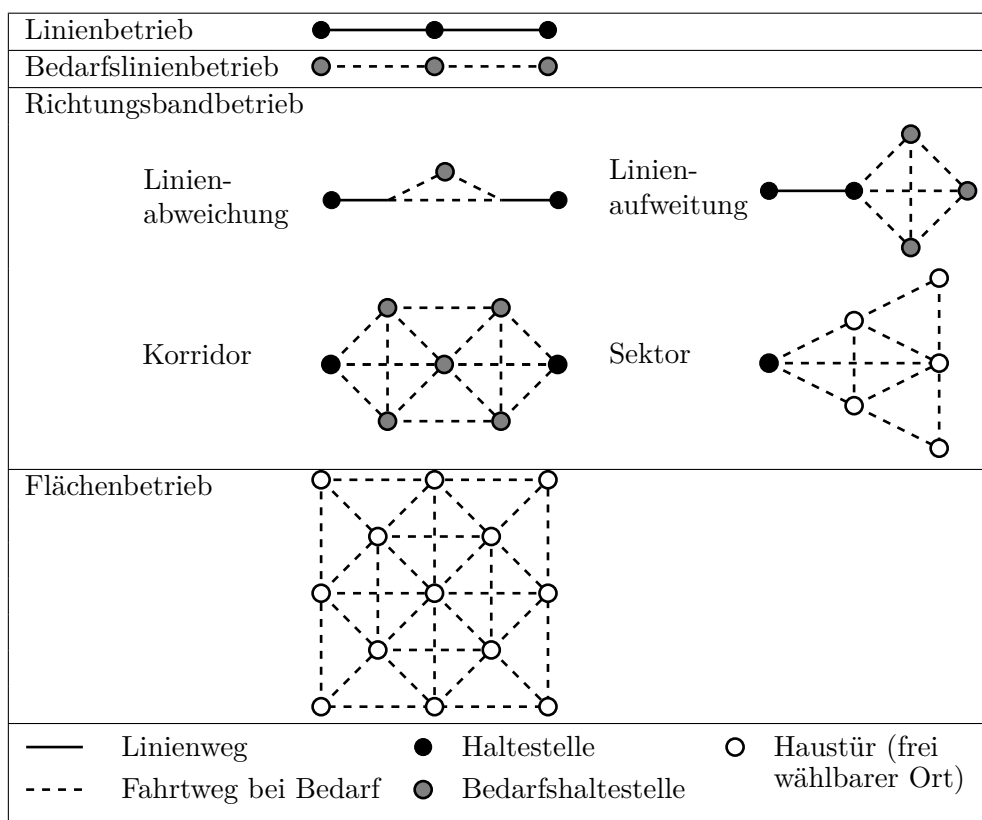


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung der Betriebsformen (eigene Darstellung nach Mehler 1998)

2.1.1 Linienbetrieb

Der Linienbetrieb erfordert ein „hohes und gerichtetes Verkehrsaufkommen“ (Mehler 1998), er ist an einen Linienweg mit Haltestellen und einen Fahrplan gebunden, eine Anmeldung ist nicht notwendig. Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben gehört der Linienbetrieb grundsätzlich zur konventionellen Betriebsform. In einigen Fällen kann

Tabelle 2.1: Klassifizierung der Angebotsformen (nach Dennig & Sieber 2002; Böhler et al. 2009 a)

Betriebsform	Betriebsform	Anmeldung	Fahrplan	Ein- und Ausstieg
Linienbus	Linienbetrieb	ohne	mit	Haltestelle
L-Bus	Bedarfslinienbetrieb	mit	mit	Haltestelle
R-Bus	Richtungsbandbetrieb	mit	mit ¹	Haltestelle
R-AST	Richtungsbandbetrieb	mit	mit ¹	Haltestelle zu Haustür
RF-Bus	Flächenbetrieb	mit	ohne	Haltestelle
F-Bus	Flächenbetrieb	mit	ohne	Haustür

¹ Abweichungen vorgesehen

der Linienbetrieb stattdessen der alternativen Betriebsform zugeordnet werden, z. B. bei den Angebotsformen Linientaxi und Bürgerbus. Das Linientaxi unterscheidet sich einzig in der Fahrzeuggröße von der konventionellen Betriebsform, so werden Kleinbusse oder Pkw eingesetzt. Eine Sonderform hinsichtlich des Betreibers stellt der Bürgerbus dar, welcher auf Grundlage von bürgerschaftlichem Engagement betrieben und finanziell verantwortet wird. Die Ehrenamtlichen sind meist als Verein organisiert, ggf. unterstützt durch ein Verkehrsunternehmen (Müller-Hellmann & Nickel 2009).

2.1.2 Bedarfslinienbetrieb

Ebenfalls eine „gerichtete, aber unregelmäßige und schwache Nachfrage“ (Mehlert 1998) ist Voraussetzung für den Bedarfslinienbetrieb bzw. L-Bus. Linienweg und Fahrplan sind wie im Linienbetrieb vorgegeben, abweichend dazu ist die Anmeldung eines Fahrtwunsches notwendig, sodass Haltestellen stets nur bei Bedarf bedient werden. Bei fehlender Nachfrage finden Fahrten nicht oder nur auf einem Teil des Linienweges statt. Das eingesetzte Fahrzeug kann vom Standardbus bis zum Pkw alle Größen aufweisen. Angebote dieser Betriebsform werden häufig Anruf- oder Bedarfslinienbus bzw. -taxi genannt.

2.1.3 Richtungsbandbetrieb

Räumlich flexibler verkehrt der Richtungsbandbetrieb, welcher richtungsgebunden innerhalb eines länglichen Gebiets Fahrtenwünsche bündelt. Die Betriebsform eignet sich insbesondere für Fahrten, die auf zentrale Orte ausgerichtet sind, wie Wege des Einkaufs-, Erledigungs- und Freizeitverkehrs (Schuster 1992). Während der Zustieg bei hohem Fahrgastaufkommen an zentralen Orten mit fest bedienten Haltestellen stattfindet, steigt der Fahrgast sonst an Bedarfshaltestellen oder frei wählbaren Orten, z. B. der eigenen Haustür, ein und aus (Mehlert 1998). Grundlage für Abfahrts- und Ankunftszeiten ist der Fahrplan, welcher für Bedarfshaltestellen durch eine ungefähre Zeitangabe aufgeweicht sein kann. Der Richtungsbandbetrieb kann vier räumliche Ausprägungen annehmen (Böhler et al. 2009 a):

- Die Linienabweichung beschreibt das kurzzeitige Verlassen des direkten Weges für einen Ein- oder Ausstieg. Dies kommt insbesondere bei „bandartigen Siedlungsstrukturen mit wenigen außerhalb gelegenen Siedlungen“ (Böhler et al. 2009 a) vor.
- Die Linienaufweitung kombiniert eine linienhafte Erschließung mit fest bedienten Haltestellen und eine Flächenererschließung mit Bedarfshaltestellen.
- Der Korridor verfügt über fest bediente Anfangs- und Endhaltestellen, dazwischenliegende Halte und die Strecke werden durch den Bedarf bestimmt.
- In einem Sektor wird nur eine zentrale Haltestelle fest bedient, typischerweise handelt es sich um Zubringer- oder Verteilverkehre zwischen Haustür und einem Veranstaltungsort oder einer Haltestelle eines höherrangigen Verkehrssystems (Kirchhoff & Tsakarestos 2007).

Dennig & Sieber 2002 unterscheiden innerhalb des Richtungsbandbetriebs zwischen R-Bus mit Ein- und Ausstieg an Haltestellen und R-AST, bei dem der Einstieg an einer Haltestelle erfolgt, der Ausstiegsort jedoch frei wählbar ist.

Anrufsammeltaxen (AST) sind oft dieser Betriebsform zuzuordnen, können jedoch auch Charakteristika des Bedarfslinienverkehrs haben (Dennig & Sieber 2002).

2.1.4 Flächenbetrieb

Im Fall einer „dispersen sowie schwachen und damit räumlich unstrukturierten Verkehrsnachfrage“ (Schuster 1992) ist der Flächenbetrieb bzw. F-Bus geeignet. Der Fahrtweg richtet sich nach den Fahrtwünschen, Zu- und Ausstiege finden an der Haustür statt (Mehlert 1998). Einzig das bediente Gebiet begrenzt die realisierbaren Fahrtwünsche, damit Anfahrtszeiten nicht unzumutbar lang werden. Aufgrund der Fokussierung auf besonders stark nachgefragte Ziele bleibt jedoch der „räumlich unstrukturierte Flächenbetrieb die Ausnahme“ (Kirchhoff & Tsakarestos 2007). In der Praxis werden Angebote dieser Betriebsform Rufbus oder Anrufbus genannt, diese Bezeichnung kann abweichend auch Angebote des Bedarfslinien- und Richtungsbandbetriebs meinen (Dennig & Sieber 2002).

Neben dem F-Bus stellt der RF-Bus einen weiteren Anrufbus im Flächenbetrieb dar, dieser hält jedoch ausschließlich an Haltestellen. Dies kann die Genehmigung erleichtern und verhindern, dass Bus- und Taxiverkehr miteinander konkurrieren (Böhler et al. 2009 a).

2.2 Voraussetzungen für alternative Betriebsformen

Böhler et al. 2009 a folgern aus der Analyse von Praxisbeispielen drei wesentliche Aspekte, die bezüglich der Eignung einer Region für alternative Betriebsformen zu untersuchen sind:

- die Art der Mobilitätsbedürfnisse: Vorteilhaft für alternative Betriebsformen sind Gemeinden bzw. Stadtteile, die nur über eine grundlegende Ausstattung an Einkaufs-, Versorgungs- und Freizeiteinrichtungen verfügen, wodurch Mobilitätsbedürfnisse zwischen diesen Orten und solchen mit einer breiteren Ausstattung an Infrastruktureinrichtungen entstehen.
- das Fahrgastpotenzial: Als potenzielle Nutzergruppen gelten die Einwohner der Gemeinden und Stadtteile ohne zentralörtliche Bedeutung. Andersherum haben Einwohner der Kernorte eine sehr geringe Nachfrage nach Fahrten in periphere Gebiete. Böhler et al. 2009 a empfehlen ein Fahrgastpotenzial von mindestens 3.000 bis 5.000 Einwohnern.
- das Vorhandensein spezifischer Zielgruppen: Alternative Betriebsformen werden hauptsächlich von Jugendlichen, Hausfrauen und -männern sowie Senioren genutzt. Deren Anteil an der Bevölkerung ist somit relevant für die Ermittlung der Nachfrage. Außerdem sind Kriterien wie Führerscheinbesitz und Pkw-Verfügbarkeit von Interesse. Im Berufs- und Schülerverkehr sind alternative Betriebsformen von Bedeutung, wenn wenig oder kein Linienverkehr existiert.

		Personengruppe				
		Jugendliche unter 18 Jahren	Erwachsene 18-64 Jahre	Ältere ab 65 Jahren	Personen mit Behinderung	Personen mit geringem Einkommen
Wegezweck	Schule / Arbeit	geringes Potenzial				
	Medizinisch, ohne Notfälle	hohes Potenzial	mittleres Potenzial	hohes Potenzial		
	Einkaufen (Lebensmittel)	geringes Potenzial				
	Einkaufen (Sonstiges)	hohes Potenzial	geringes Potenzial			
	Soziales					

Abbildung 2.2: Potenzial für alternative Betriebsformen nach Personengruppe und Wegezweck (nach Potts et al. 2010)

Potts et al. 2010 gehen genauer auf spezifische Zielgruppen ein, sie schätzen das Potenzial für alternative Betriebsformen anhand von Kombinationen aus Wegezweck und Personengruppe ab. So sind insbesondere die auf öffentlichen Verkehr angewiesenen Einwohner, d.h. Ältere ab 65 Jahren, Personen mit Behinderung oder geringem Einkommen, geeignete Nachfragegruppen für alternative Betriebsformen - außer auf zeitkritischen Wegen. Auch Jugendliche auf dem Weg zum Arzt, zu sonstigen Einkäufen und sozialen Aktivitäten erhöhen die Durchführbarkeit von alternativen Betriebsformen. Ein mittleres Potenzial weisen Erwachsene zwischen 18 und 64 Jahren auf Wegen zum Zweck der medizinischen Versorgung auf. Außerdem stellt die bisherige Nachfrage

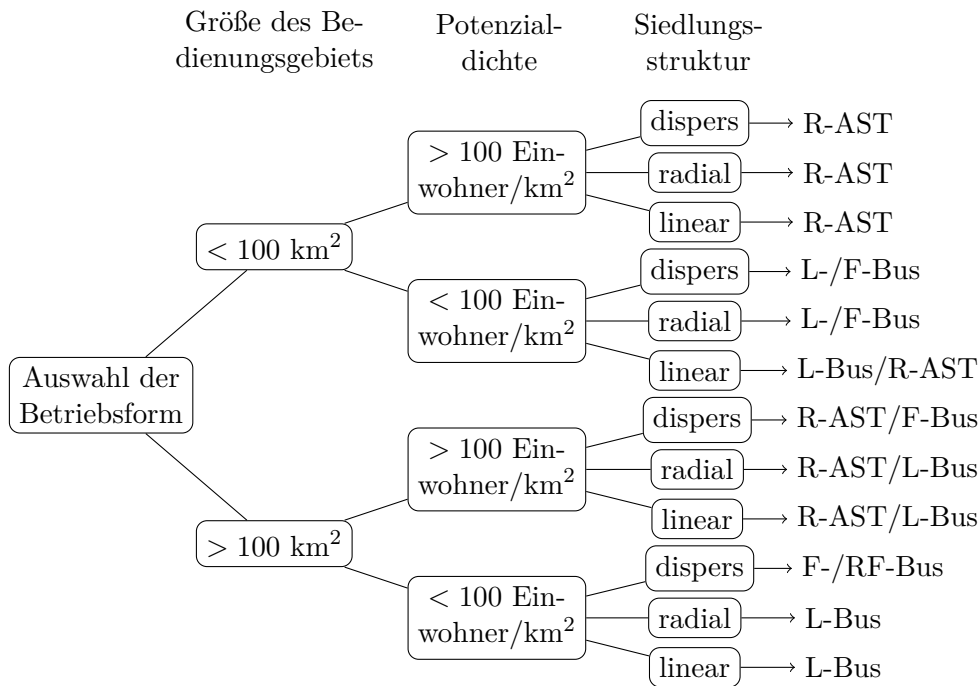


Abbildung 2.3: Wahl der Betriebsform (eigene Darstellung nach Böhler et al. 2009 a)

im konventionellen Linienverkehr einen Indikator für das Gelingen einer alternativen Betriebsform dar. Für kleinstädtische Gebiete sind Linienverkehre mit „fünf bis 16 Fahrgästen pro Stunde vielversprechende Kandidaten für eine flexible Betriebsform“ (Potts et al. 2010). Abbildung 2.2 zeigt Kombinationen aus Wegezweck und Personengruppe und deren Potenziale auf.

Von großer Bedeutung ist zudem, wie hoch das Potenzial zur Bündelung von Fahrtenwünschen ist. Begünstigend wirkt eine kompakte, radiale oder lineare Siedlungsstruktur mit wenigen konzentrierten Quellen und Zielen. Ebenso kann die gewählte Betriebsform und deren Fahrtenhäufigkeit die Bündelungsfähigkeit beeinflussen. Je dichter der Takt bei Fahrplanbindung bzw. je kürzer die Voranmeldezeit ist, desto weniger lassen sich Fahrtwünsche zusammenfassen (Böhler et al. 2009 a). Vom (Bedarfs)Linien- über den Richtungsband- zum Flächenverkehr nimmt die Bündelungsfähigkeit demnach ab.

2.3 Auswahl der Betriebsform

Ist das betrachtete Gebiet für die Einrichtung einer alternativen Bedienung geeignet, so folgt die Auswahl der Betriebsform. Dafür sind drei Aspekte des Bedienungsgebiets ausschlaggebend, die nach Böhler et al. 2009 a wiedergegeben werden.

- Größe des erschlossenen Gebiets: Es wird unterschieden in kleine ($< 100 \text{ km}^2$) und große ($> 100 \text{ km}^2$) Bedienungsgebiete.
- Potenzialdichte, welche sich aus dem Fahrgastpotenzial je Flächeneinheit des Be-

dienungsgebiets berechnet: Ab einer Potenzialdichte von 100 Einwohnern pro Quadratkilometer wird diese als hoch bezeichnet, darunter als niedrig.

- Siedlungsstruktur: Diese kann entweder linear, radial oder dispers sein.

Basierend auf der Analyse von Praxisbeispielen ordnet der Entscheidungsbaum in Abbildung 2.3 jeder Kombination aus den drei Merkmalen eine oder mehrere geeignete Betriebsformen zu. Es ist zu beachten, dass die Kombinationen aus kleinem Bedienungsgebiet mit geringer Potenzialdichte sowie großem Gebiet mit hoher Potenzialdichte kaum auftreten (Böhler et al. 2009 a).

3 Einführung in das Fallbeispiel

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse soll anhand eines Fallbeispiels durchgeführt werden. Dafür werden in diesem Kapitel einerseits die Eigenschaften der angestrebten Angebotsform Quartiersbus erläutert und andererseits die Stadt Schorndorf als Anwendungsgebiet vorgestellt.

3.1 Quartiersbus Schorndorf

Ein Nahverkehrsangebot mit sehr hohem Flexibilisierungsgrad entwickelt das DLR mit weiteren Partnern¹ derzeit im Projekt *Reallabor Schorndorf*. Der sogenannte Quartiersbus, welcher sich in den Flächenbetrieb einordnen lässt, verkehrt räumlich und zeitlich flexibel. Einzig die angemeldeten Fahrtwünsche bestimmen das Angebot, es gibt weder Linienweg noch Haltestellen oder Fahrplan. Der Fahrgast äußert den Fahrtwunsch mit geringen Vorlaufzeiten entweder persönlich beim Fahrer, telefonisch oder online, ggf. als Dauerauftrag. Insbesondere eine vom DLR entwickelte App vereinfacht die Anmeldung für die Fahrgäste und erfasst mittels Ortung den aktuellen Aufenthaltsort des Fahrgastes als möglichen Ausgangspunkt für die Fahrt. So werden alle online übermittelten Fahrtwünsche automatisch in die Dispositionssoftware eingespeist. Mitarbeiter/innen tragen nur persönlich oder telefonisch geäußerte Fahrtwünsche manuell in die Steuerungssoftware ein. Die Vorteile einer Dispositionssoftware liegen insbesondere in der Möglichkeit Fahrtwünsche zu bündeln sowie in der automatisierten Disposition (Steinmeier 2011). Für den Betreiber geht mit der dynamischen Routenwahl einher, dass basierend auf Erfahrungswerten Fahrzeuge und Fahrpersonal bereit gehalten werden, jedoch keine Einsatzplanung vorgenommen werden kann (Berenguel Fernandez 2015). Aufgrund „der Komplexität der Randbedingungen sind Optimierungsverfahren [im Flächenbetrieb] aber nicht praktikabel, sodass heuristische Verfahren zum Einsatz kommen müssen“ (Nocera 2004). Ziel des Verfahrens ist es, einerseits die Fahrzeit für die Fahrgäste sowie andererseits den Einsatz von Fahrzeugen und Fahrpersonal durch eine hohe Fahrzeugauslastung zu minimieren. Diese gegenläufigen Ziele werden in einem zweistufigen Verfahren verfolgt, wobei das Ergebnis des ersten Teilproblems die Eingangsgröße für die zweite Stufe darstellt (Nocera 2004):

¹Weitere Beteiligte sind die Stadt Schorndorf, das Zentrum für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung der Universität Stuttgart, die Hochschule Esslingen, der Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart (VVS), das Unternehmen Knauss Linienbusse sowie die Daimler AG. Das Vorhaben wird vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg gefördert.

- Ermittlung der Anzahl der benötigten Fahrzeuge
- Zuordnung der Fahrtwünsche zu den Fahrzeugen und Routenbildung.

Begrenzende Nebenbedingungen sind das Bedienungsgebiet, die Betriebszeiten sowie die vorgehaltenen Ressourcen an Fahrzeugen und Fahrpersonal. Einschränkend wirken die Voranmeldezeit sowie die zulässigen Umwege auf die Routenwahl. Letztere sind politische Entscheidungen, welche die Attraktivität des Angebots bestimmen. Die Anmeldung eines Fahrtwunsches muss demnach folgende Angaben enthalten:

- Ausgangsort (ggf. aktueller Standort über GPS) und Ziel der Fahrt
- spätestmögliche Ankunftszeit (z.B. bei Umstieg, Schul- oder Arbeitsbeginn) oder gewünschte Ankunftszeit mit Toleranz bei weniger zeitsensitiven Fahrten
- Anzahl der Fahrgäste

Auf dieser Grundlage wird die Fahrt demjenigen Fahrzeug zugeordnet, dessen Kosten sich durch den Auftrag am wenigsten erhöhen, Abfahrts- und Ankunftszeiten berechnet und dem Fahrgast mitgeteilt. Der Fahrgast entscheidet auf dieser Grundlage, ob er die Fahrt unter den übermittelten Rahmenbedingungen antreten möchte.

3.1.1 Genehmigung des Verkehrsangebots

Das Personenbeförderungsgesetz schreibt für die gewerbliche Personenbeförderung den Besitz einer Genehmigung vor (§ 1 I PBefG). Dadurch, dass der Quartiersbus keine regelmäßige Verkehrsverbindung darstellt, erfüllt er zunächst nicht die Voraussetzungen für die Genehmigung als Linienverkehr (§ 42 PBefG). Alternativ ist die Genehmigung als Taxiverkehr nach § 47 PBefG oder als Verkehr mit Mietwagen und Mietomnibussen nach § 49 PBefG möglich (Kocks et al. 2005; Bihn & Löcker 1994). Bei Nicht-Erfüllung aller Merkmale einer der im Gesetz unterschiedenen Verkehrsarten können diese als die Verkehrsart genehmigt werden, der sie am stärksten entsprechen (§ 2 VI PBefG). Für die „praktische Erprobung neuer Verkehrsarten oder Verkehrsmittel“ (§ 2 VII PBefG) macht das Gesetz Ausnahmen von der Genehmigungspflicht, jedoch maximal für einen Zeitraum von vier Jahren.

In der Praxis zeigen die von Böhler et al. 2009 a untersuchten alternativen Betriebsformen, dass die Genehmigung vorrangig als Linienverkehr nach § 42 PBefG erfolgt. Gleichzeitig wird in der Studie darauf verwiesen, dass das Gesetz eine eindeutige gesetzliche Regelung vermissen lässt. Die Rechtsprechung hat die Genehmigung einer dem Quartiersbus ähnlichen Betriebsform als Mietwagenverkehr (§ 2 VI i. V. m. § 49 IV PBefG) „für zulässig erachtet“ (Oberverwaltungsgericht Lüneburg, zitiert nach Böhler et al. 2009 a). Nach der Einschätzung von Müller-Hellmann & Nickel 2009 ist eine Zuordnung zum Gelegenheitsverkehr nach § 49 PBefG naheliegend, sofern das Angebot weder räumlich noch zeitlich gebunden ist. Einschränkend weist er auf die Funktion des

Verkehrsangebots hin. Wird darauf abgezielt, den Linienverkehr zu ersetzen, deutet dies wiederum auf die Möglichkeit der Genehmigung als Linienverkehr hin. Die Frage nach der Genehmigungsart kann demnach für den Quartiersbus nicht zweifelsfrei beantwortet werden, was für den Betreiber ein Risiko darstellt. Mehler & Zietz 2014 empfehlen den frühzeitigen Kontakt zur jeweiligen Genehmigungsbehörde.

Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse wird der Argumentation von Müller-Hellmann & Nickel 2009 gefolgt. Da der Quartiersbus den Linienverkehr in Teilen direkt ersetzt, kann die Annahme getroffen werden, dass eine Genehmigung als Linienverkehr (§ 42 PBefG) bzw. als eine dem Linienverkehr entsprechende Form (§ 2 VI i. V. m. § 42) erfolgt. Daraus ergibt sich ein Anspruch auf Ausgleichszahlungen nach § 45a PBefG für die Beförderung von Fahrgästen mit ermäßigten Zeitfahrkarten im Ausbildungsverkehr sowie die unentgeltliche Beförderung von Personen mit Schwerbehinderung nach § 145 I Sozialgesetzbuch IX (SGB IX). Außerdem unterliegt der Linienverkehr dem ermäßigten Mehrwertsteuersatz in Höhe von sieben Prozent nach § 12 II 10 Umsatzsteuergesetz (UStG). Kraftomnibusse werden gemäß Kraftfahrzeugsteuergesetz (KraftStG) von der Besteuerung ausgenommen, sofern sie zu mehr als 50 Prozent ihrer Jahreslaufleistung im Linienverkehr eingesetzt werden werden (§ 3 VI KraftStG).

3.1.2 Modellierung der Strecke des Quartiersbusses

Da es sich um ein Pilotprojekt handelt, kann für den Quartiersbus nicht auf Erfahrungswerte bezüglich der jährlichen Laufleistung zur Beförderung zurückgegriffen werden. Stattdessen soll ein Modell entwickelt werden, das anhand der Anzahl der Fahrgäste $g_{h,w}$ im Zeitintervall h am Verkehrstag w einen Erwartungswert für die Strecke der Fahrzeuge $s_{\text{Bef},u,h,w}(m)$ bestimmt. Voraussetzung ist, dass es sich um ein flächiges Bedienungsgebiet $u \in U$ mit einer Ausrichtung der Fahrten auf das Zentrum handelt. Für dieses Fallbeispiel stellt $U = \{G, N, NO, O, S\}$ die Menge der Bedienungsgebiete dar, deren Ausdehnung und Eigenschaften sind in Tabelle 3.1 wiedergegeben. Nach der Größe des Bedienungsgebiets richtet sich die Länge des Zeitintervalls h , deren Fahrten gebündelt werden. Je größer das Gebiet u ist, desto länger ist das Zeitintervall und damit die Voranmeldezeit für den Fahrgast. Dadurch kann eine Bündelung der Fahrten erreicht werden, andererseits darf im Sinne der Angebotsqualität die Voranmeldezeit nicht zu lang sein. Aufgrund der Größe der Bedienungsgebiete der Menge U wird im Folgenden von einem einstündigem Zeitintervall ausgegangen. Nach Anmeldung der Fahrtwünsche wird unter Minimierung der Strecke $s_{\text{Bef},u,h,w}$ eine optimale Route berechnet, danach beginnt das Zeitintervall zur Durchführung der Fahrten. Zunächst wird die Strecke $s'_{\text{Bef},u}(g)$ ermittelt, die der Fahrgast g verursacht. Basierend auf der Größe des Bedienungsgebiets u wird eine mittlere Strecke $s_u = s'_{\text{Bef},u}(g = 1)$ zugrunde gelegt, die durch einen Fahrgast verursacht wird (s. Formel 3.1.1). Diese umfasst sowohl die mittlere Reiseweite des Fahrgastes als auch den erforderlichen Anfahrtsweg zwischen Standort des Fahrzeugs und Zustieg. Bei zwei Fahrgästen je Stunde soll sich

Tabelle 3.1: Übersicht über die Bedienungsgebiete des Quartiersbusses

Bedienungsgebiet	u	s_u	$s_{\max,u}$
nördlich des Bahnhofs zzgl. Zentrum (Linie 246)	N	3,0	28,4
südöstlich des Bahnhofs (Linie 247)	O	3,0	21,3
südlich des Bahnhofs (Linien 242, 247)	S	4,0	22,4
nördlich und südöstlich des Bahnhofs (Linien 246, 247)	NO	4,0	24,2
gesamtes Stadtgebiet (Linien 242, 246, 247)	G	4,5	23,7

die Strecke nicht verdoppeln, sondern die hinzukommen Strecke $s'_{\text{Bef},u}(g=2)$ geringer sein als die Strecke bei nur einem Fahrgast (s. Formel 3.1.2). Dies ist darin begründet, dass der Zeitpunkt der einzelnen Fahrt innerhalb des Zeitintervalls variabel ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Fahrtwünsche des ersten und zweiten Fahrgastes in der optimalen Route überschneiden, sodass sie gemeinsam befördert werden können, soll $p_B = \frac{s_u}{s_{\max,u}}$ betragen. Dabei stellt $s_{\max,u}$ die Strecke dar, die das Fahrzeug im betrachteten Bedienungsgebiet u innerhalb einer Stunde bei durchgehender Beförderung zurücklegt. Diese wird gebietsspezifisch anhand der Beförderungsgeschwindigkeit berechnet. Voraussetzung für ein realistisches Ergebnis ist, dass $s_u \ll s_{\max,u}$ gilt, was hier für die Bedienungsgebiete u gegeben ist (vgl. Tabelle 3.1).

$$s'_{\text{Bef},u}(g=1) = s_u \quad (3.1.1)$$

$$s'_{\text{Bef},u}(g=2) = \frac{s_{\max,u} - s'_{\text{Bef},u}(1)}{s_{\max,u}} \cdot s_u = \left(1 - \frac{s_u}{s_{\max,u}}\right) \cdot s_u \quad (3.1.2)$$

$$s'_{\text{Bef},u}(g=3) = \frac{s_{\max,u} - s'_{\text{Bef},u}(1) - s'_{\text{Bef},u}(2)}{s_{\max,u}} \cdot s_u = \left(1 - \frac{s_u}{s_{\max,u}}\right)^2 \cdot s_u \quad (3.1.3)$$

Die Verallgemeinerung dieses Zusammenhangs stellen die Formeln 3.1.4 und 3.1.5 dar.

$$s'_{\text{Bef},u}(g) = 0 \quad \forall g = 0 \quad (3.1.4)$$

$$s'_{\text{Bef},u}(g) = \left(1 - \frac{s_u}{s_{\max,u}}\right)^{(g-1)} \cdot s_u \quad \forall g = 1, \dots, g_{h,w} \quad (3.1.5)$$

Zur Berechnung der Strecke, die das Fahrzeug im Zeitintervall h am Verkehrstag w zurücklegt, werden die einzelnen Strecken $s'_{\text{Bef},u}(g)$ je Fahrgast $g \leq g_{h,w}$ summiert zu:

$$s_{\text{Bef},u,h,w} = \sum_{g'=1}^{g_{h,w}} s'_{\text{Bef},u}(g') = \sum_{g'=1}^{g_{h,w}} \left(1 - \frac{s_u}{s_{\max,u}}\right)^{(g'-1)} \cdot s_u \quad (3.1.6)$$

Falls gleichzeitig m Busse in einem Bedienungsgebiet verkehren, ist deren Wahrscheinlichkeit einen Fahrgast zu befördern identisch. Die Strecke eines von m eingesetzten

Bussen $s_{\text{Bef},u,h,w}(m)$ berechnet sich wie folgt:

$$s_{\text{Bef},u,h,w}(m) = \sum_{g'=1}^{g_{h,w}} \left(1 - \frac{s_u}{m \cdot s_{\max,u}}\right)^{(g'-1)} \cdot \frac{s_u}{m} \quad \forall 1 \leq m \leq n_{\text{Fz},i} \quad (3.1.7)$$

Abbildung 3.1 zeigt die Strecke $s_{\text{Bef},u,h,w}(m)$ für ein Zeitintervall von einer Stunde. Mit Formel 3.1.7 geht einher, dass $s_{\text{Bef},u,h,w}(m)$ sich asymptotisch an $s_{\max,u}$ annähert. Bei hohen Fahrgastzahlen verursacht ein zusätzlicher Fahrgast kaum zusätzliche Strecke für den Bus. Dies kann dann als realistisch angesehen werden, wenn hohe Fahrgastzahlen ausschließlich im Ausbildungs- und Berufsverkehr auftreten. Für diesen Fall ist die starke Bündelung von Fahrtwünschen aufgrund ähnlicher Relationen realistisch, jedoch nicht bei einer großen Anzahl voneinander unabhängiger Fahrgäste. Bezogen auf die Beförderungszeit bedeutet die asymptotische Annäherung, dass alle Fahraufträge innerhalb des Zeitintervalls, in dem sie angemeldet werden, erfüllt werden können. Tatsächlich kann der Quartiersbus nicht unbegrenzt viele Fahraufträge innerhalb einer Stunde erfüllen. Diese Vereinfachung wird dem Modell eingeräumt, um Auswirkungen auf die folgende Stunde zu verhindern. Außerdem ist kritisch anzumerken, dass die Beförderungsgeschwindigkeit und somit die maximale Laufleistung zur Beförderung $s_{\max,u}$ mit der Fahrgastanzahl $g_{h,w}$ sinken wird, da der Bus häufiger für Fahrgastwechsel hält. Dies wird im Modell nicht abgebildet, $s_{\max,u}$ ist konstant.

Die Strecke je Zeitintervall und Verkehrstag $s_{\text{Bef},u,h,w}(m)$ geht nachfolgend in die Ermittlung der Laufleistung zur Beförderung ein (s. Formel 4.3.2 auf S. 37).

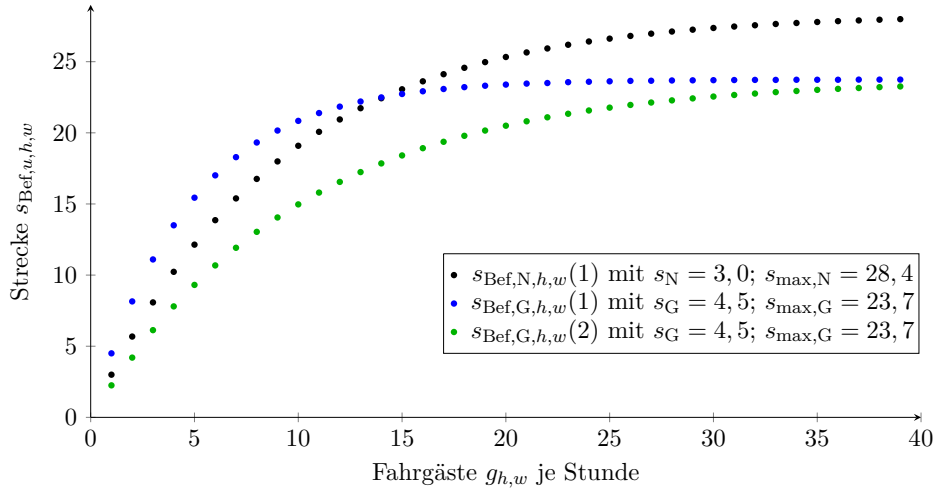


Abbildung 3.1: Strecke des Quartiersbusses in Abhängigkeit von der Fahrgastzahl $g_{h,w}$

3.2 Die Stadt Schorndorf

Im Folgenden soll unter Beachtung der Demographie sowie des Mobilitätsverhaltens der Einwohner geprüft werden, ob die baden-württembergische Stadt Schorndorf sich

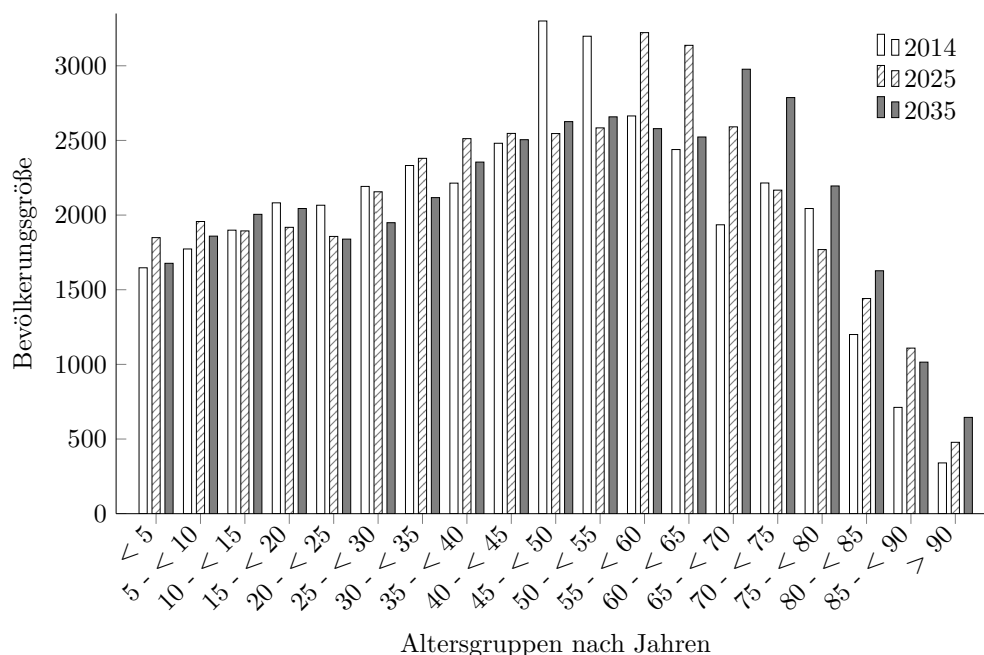


Abbildung 3.2: Bevölkerungsentwicklung nach Altersgruppen in Schorndorf (eigene Darstellung, Daten aus SL BW 2016)

als Anwendungsfall zur Erprobung des Quartiersbusses (s. Abschnitt 3.1) eignet. Schorndorf ist mit 38.733 Einwohnern die drittgrößte Stadt des Rems-Murr-Kreises. Die Kernstadt sowie die Stadtteile Buhlbronn, Haubersbronn, Miedelsbach, Ober- und Unterberken, Schlichten, Schornbach und Weiler umfassen eine Fläche von 56,84 Quadratkilometern, die Bevölkerungsdichte beträgt somit 681 Einwohner je Quadratkilometer (jeweils Stand 31.12.2014). Damit ist sie im Vergleich zu anderen Städten des Landkreises mit ähnlicher Bevölkerungszahl eher dünn besiedelt. (Destatis 2014 a) Aufgrund ihrer Ausstattung mit Angeboten des „mittelfristigen oder gehobenen Bedarfs“ (Borsdorf & Bender 2010), u. a. vier weiterführende und zwei Berufsschulen, ein Krankenhaus, vielfältige Einkaufsmöglichkeiten sowie Kultur- und Sportangebote, kommt der Stadt die zentralörtliche Bedeutung eines Mittelzentrums zu. Das nächste Oberzentrum ist die 30 Kilometer westlich gelegene Landeshauptstadt Stuttgart. Seit 2005 übersteigt die Zahl der Sterbefälle durchgängig die Geburtenzahl. Dieses Geburtendefizit wird durch ein positives Wanderungssaldo nur teilweise kompensiert, sodass die Bevölkerungszahl zwischen 2005 und 2014 um knapp 1,5 Prozent gesunken ist und eine weitere Abnahme prognostiziert wird. Während die Anzahl der Kinder und Jugendlichen bis 2035 leicht steigt, wird die Gruppe der Erwachsenen zwischen 20 und 35 Jahren in den kommenden 20 Jahren deutlich kleiner werden, wie Abbildung 3.2 zeigt. Herauszuheben ist die große Anzahl der 45- bis 55-Jährigen, welche in Zukunft für eine deutliche Vergrößerung ihrer Altersgruppe sorgen werden. Z. B. wird die Anzahl der 60- bis 65-Jährigen zwischen 2014 und 2025 um 28,6 Prozent, die der 65- bis 70-Jährigen um 33,9 Prozent steigen. (SL BW 2016) Für 2030 wird eine Einwohnerzahl von 37.600

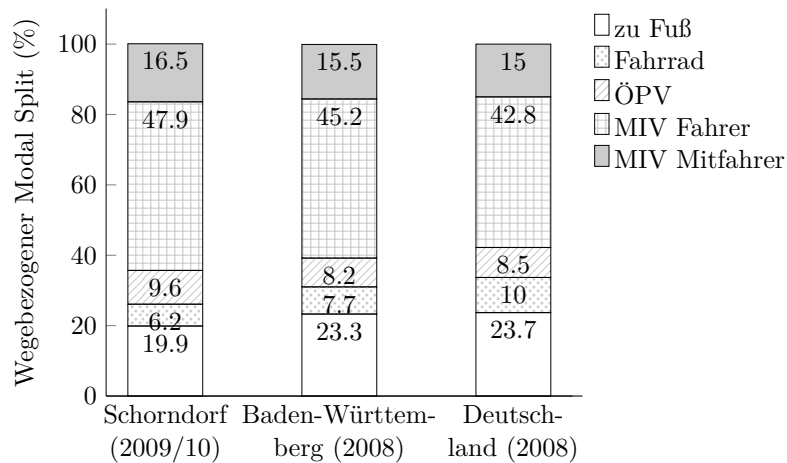


Abbildung 3.3: Modal Split im Vergleich (eigene Darstellung, Daten aus Follmer et al. 2009; VRS 2011)

prognostiziert (Neumann 2012).

3.2.1 Verkehr

Die Bundesstraße 29 zwischen Waiblingen und Nördlingen führt unmittelbar nördlich an Schorndorf vorbei. Die nächstgelegene Anschlussstelle einer Bundesautobahn ist in 31 Minuten, das Oberzentrum Stuttgart in 42 Minuten mit dem Pkw erreichbar (BBR 2016). Die Pkw-Dichte lag im Jahr 2012 mit 533 Pkw je 1.000 Einwohner geringfügig über dem Landesdurchschnitt (532), jedoch deutlich unter der Dichte im gesamten Rems-Murr-Kreis von 545 Pkw je 1.000 Einwohner (Neumann 2012).

Die Stadt verfügt über einen zentral gelegenen Bahnhof, welcher in Ost-West-Richtung von dem Intercity zwischen Karlsruhe und Nürnberg mit ein bis zwei täglichen Abfahrten je Richtung sowie stündlich bis halbstündlich von der Regionalbahn auf der Strecke zwischen Stuttgart und Aalen bedient wird (DB 2016). Über eine weitere Regionalbahnstrecke wird Schorndorf Bahnhof über Schorndorf Hammerschlag im 30-Minuten-Takt mit den Städten im Norden des Rems-Murr-Kreises verbunden. Die S-Bahn-Linie S2 aus Filderstadt über Stuttgart hält im Stadtteil Weiler und hat ihre Endstation am Bahnhof Schorndorf. In der Haupt- und Normalverkehrszeit (HVZ und NVZ) verkehrt die S-Bahn mit einer Taktzeit von 15 bis 30 Minuten. Es gibt insgesamt 14 Buslinien in Schorndorf, von denen drei ausschließlich das Stadtgebiet erschließen: die Linien 242, 246 und 247. Die anderen erfüllen hauptsächlich eine Verbindungsfunktion zu den umliegenden Gemeinden. Die drei erschließenden Linien sowie vier weitere Linien verkehren nach Taktfahrplan mit einer Taktzeit von zumeist 30 oder 60 Minuten in der HVZ und NVZ. Vier Linien haben nur wenige tägliche Umläufe, insbesondere im Schülerverkehr, drei weitere Linien verkehren ausschließlich vereinzelt am Wochenende. (VVS 2016 a)

In einer Haushaltsbefragung zum Verkehrsverhalten in den Jahren 2009 und 2010 gaben die Einwohnerinnen und Einwohner Schorndorfs an, mehr als ein Viertel der Wege

aus eigener Muskelkraft zu bewältigen, 19,9 Prozent zu Fuß und 6,2 Prozent mit dem Fahrrad. 9,6 Prozent der Wege wurden im öffentlichen Personenverkehr (ÖPV) zurückgelegt. Für die übrigen Wege wurde der motorisierte Individualverkehr (MIV) gewählt, 47,9 Prozent als Fahrer/in und weitere 16,5 Prozent als Mitfahrer/in. (VRS 2011)

Abbildung 3.3 vergleicht die Werte aus Schorndorf mit denen aus Baden-Württemberg und Deutschland aus dem Jahr 2008 (Follmer et al. 2009). Beim Vergleich sind die abweichenden Erhebungszeitpunkte zu beachten. Es fällt auf, dass der MIV mit insgesamt 64,4 Prozent im Vergleich zu den landes- und bundesweiten Werten (60,7 bzw. 57,8 Prozent) einen deutlich höheren Anteil einnimmt. Ebenso wird der ÖPV in Schorndorf leicht überdurchschnittlich gewählt. Dies geht zu Lasten der unmotorisiert zurückgelegten Wege.

3.2.2 Eignung Schorndorfs als Anwendungsfall

Bei Anwendung der in Abschnitt 2.2 genannten Voraussetzungen für alternative Betriebsformen fällt auf, dass Schorndorf mit seinen Eigenschaften als Mittelzentrum nicht den typischen Anwendungsfällen entspricht. Die Stadt verfügt über mehr als eine grundlegende Ausstattung mit Versorgungseinrichtungen. Nichtsdestotrotz entstehen Mobilitätsbedürfnisse ins Oberzentrum Stuttgart. Die Anbindung mit der S-Bahn ist bereits als qualitativ hochwertig einzustufen, ein alternatives Betriebssystem kann gemäß der Netzhierarchie als Zubringer zur S-Bahn dienen. Das Fahrgastpotenzial ist abhängig von der Abgrenzung des bedienten Gebiets, das Mindestfahrgastpotenzial von 3.000 bis 5.000 Einwohnern stellt für die Stadt jedoch keine Hürde dar. Bei der Betrachtung spezifischer Zielgruppen ist insbesondere die Altersgruppe ab 60 Jahren interessant, da diese insgesamt wachsen wird. Bei den Kindern und Jugendlichen sind insbesondere die 10- bis unter 20-Jährigen als spezifische Zielgruppe von Interesse. Ihre Anzahl wird sich bis 2025 geringfügig verringern, danach etwa auf den Wert von 2004 wachsen (SL BW 2016). Zur Anzahl der Hausfrauen und -männer liegen für Schorndorf keine Daten vor. Bei der Auswahl der geeigneten Betriebsform gibt der Entscheidungsbaum in Abbildung 2.3 eine eindeutige Antwort. Demnach eignet sich für Schorndorf mit einer Fläche von weniger als 100 Quadratkilometern und einer Einwohnerdichte weit über 100 Einwohnern pro Quadratkilometer unabhängig von der Siedlungsstruktur das R-AST (Anrufsammeltaxi im Richtungsbandbetrieb).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die demographischen Voraussetzungen für eine alternative Betriebsform günstig sind. Denn trotz sinkender Einwohnerzahl wachsen die Personengruppen mit hohem Potenzial (s. Abbildung 3.2). Der wegebezogene Modal Split weist darauf hin, dass die Bevölkerung den ÖPV bereits rege nutzt, jedoch stellen der hohe Anteil an MIV-Nutzern und die hohe Pkw-Dichte eine Hürde für das flexible Angebot dar. Hinsichtlich der Betriebsform wird bewusst von den Empfehlungen von Böhler et al. 2009 a (s. Abbildung 2.3) abgewichen. Statt des R-AST wird ein fahrplanloser Flächenbetrieb (F-Bus) als partieller Ersatz des Linienverkehrs angestrebt. Wie

in Kapitel 1 erwähnt, soll die Flexibilisierung eine Qualitätssteigerung erreichen und die Anwendungsfälle des Flächenbetriebs erweitern.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse sind auf andere Städte übertragbar, da die Raumstruktur Schorndorfs in weiteren Mittelzentren zu finden ist (DLR 2016).

4 Wirtschaftlichkeitsanalyse am Fallbeispiel

Die Begriffe Wirtschaftlichkeitsanalyse und Wirtschaftlichkeitsrechnung werden in der Literatur teilweise synonym verwendet (z. B. Nafziger 1997). Ziel ist es, ein quantitatives Urteil über die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme zu bilden (Holzapfel 1992). Schulte 1986 nennt verschiedene Ausprägungen einer Wirtschaftlichkeitsanalyse, von denen in dieser Arbeit vor allem die ersten beiden relevant sind: eine Aussage über die Vorteilhaftigkeit einer Investitionsentscheidung zu treffen sowie mehrere Investitionsalternativen hinsichtlich ihrer Vorteilhaftigkeit zu vergleichen. Wirtschaftlichkeitsanalysen können unterschiedliche Größen zugrunde liegen, bei der Bewertung von Investitionsentscheidungen sind dies typischerweise die in Abhängigkeit von der Investition zu erwartenden Ein- und Auszahlungen über mehrere Perioden (Kleinaltenkamp 1995). Dies ist ebenfalls das Grundprinzip der hier verwendeten Methode der Kapitalwertermittlung, welche den Verfahren der dynamischen Wirtschaftlichkeitsanalyse zugerechnet wird (Andree 2011).

4.1 Life Cycle Costing

Für die ganzheitliche, produktbezogene Betrachtung von Kosten und Erlösen stellt die Lebenszykluskostenrechnung bzw. das Life Cycle Costing (LCC) ein Verfahren der Kostenrechnung dar, welches erstmals in den 1960er Jahren in den USA in Militär und Immobilienwirtschaft Anwendung fand (Herrmann 2010). Das Verfahren LCC lässt sich dem Life Cycle Management (LCM) zuordnen, welches „die Summe der strategischen, organisatorischen und [...] technischen Maßnahmen zur durchgängigen, innovationsgetriebenen Betreuung eines Produktes über seinen gesamten Lebenszyklus“ (Herrmann 2010) darstellt. LCM umfasst eine Reihe von Instrumenten, welche das Ziel verfolgen, eine nachhaltige Entwicklung mit den drei Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales zu erreichen und zu quantifizieren (Rebitzer & Hunkeler 2003). LCC erfasst ausschließlich ökonomische Aspekte. Das Grundprinzip des LCC ist die Erfassung aller über den Lebenszyklus eines Produkts entstehenden Zahlungsströme - von der Entwicklung über die Nutzung bis zur Entsorgung. Die häufigste Anwendung findet LCC bei der Bewertung von Investitionsgütern, kann jedoch auch Projekte und Dienstleistungen, Lieferanten- und Kundenbeziehungen, Standorte, Prozesse und Technologien als Gegenstand haben (Götze 2000; Günther 2008). Es kann sowohl die Sicht des Herstellers als auch die des Kunden eingenommen werden.

Neben der Prognose und Abbildung aller Ein- und Auszahlungen verfolgt LCC das

Ziel, diese durch die Identifikation von Wechselwirkungen zwischen den Kostenkategorien (Anfangs- und Folgekosten) zu erklären. Dies schafft die Voraussetzung dafür, Kosten für die Zukunft durch das Aufzeigen von Optimierungspotenzialen und ggf. die Veränderung einzelner Parameter zu beeinflussen und zu gestalten. Ebenso können Handlungsalternativen, welche den gleichen Leistungsumfang aufweisen, miteinander verglichen werden (Bubeck 2002; VDI 2005).

Obwohl der Verlauf der Lebensphasen „eher einem gerichteten Graphen ähnelt“ (Bubeck 2002), hat sich hier der Begriff des Lebenszyklus durchgesetzt. Irreführend ist hier der Kostenbegriff, da LCC Zahlungsströme betrachtet (Günther 2008). Während einige Berechnungen, insbesondere im Bereich der Konsumgüter, ausschließlich ausgehende Zahlungsströme einbeziehen, sind in den meisten Fällen ebenso eingehende Zahlungsströme relevant (Bubeck 2002). Ob es sich um Ein- und Auszahlung, Ein- und Ausgaben, Erträge und Aufwendungen oder Kosten und Leistungen bzw. Erlöse handelt, spielt beim LCC eine untergeordnete Rolle². Da auf die periodische Zuordnung der Zahlungsströme zugunsten der Untersuchung des gesamten Lebenszyklus verzichtet wird, „entfallen auch die durch Phasenverschiebung, z. B. zwischen Wareneinzugängen und Zahlungsausgängen notwendigen Abgrenzungen der Strömungsgrößen“ (Bubeck 2002). Insbesondere bei einem langen Lebenszyklus muss dennoch der Periode t , in der Ein- und Auszahlungen anfallen, Rechnung getragen werden. Dies geschieht durch die Kapitalwertmethode, welche alle Einzahlungen E_t und Auszahlungen A_t der Periode t auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme $t = 0$ diskontiert (VDI 2005). Der jährliche Diskontierungszinssatz wird hier mit 1,7 Prozent angenommen, welcher in dieser Höhe im Entwurf des Bundesverkehrswegeplans 2030 ermittelt wurde (BMVI 2016). Es gilt $p = 0,017$. Der Kapitalwert C_0 berechnet sich nach Formel 4.1.1 (Bubeck 2002).

$$C_0 = \sum_{t=0}^T \frac{E_t - A_t}{(1 + p)^t} \quad (4.1.1)$$

Der Begriff Lebenszykluskostenanalyse bzw. Life Cycle Cost Analysis (LCCA) wird teilweise synonym zu LCC verwendet (Herrmann 2010), teilweise wird damit der systematische Vergleich von mehreren Handlungsalternativen anhand der Lebenszykluskosten bezeichnet (Bubeck 2002).

4.2 Ein- und Auszahlungen im ÖPNV mit Bussen

Die Ein- und Auszahlungen, welche für ein Verkehrsangebot im ÖPNV mit Bussen entstehen, werden im Folgenden den Lebenszyklusphasen zugeordnet und erläutert. Der Lebenszyklus besteht aus drei Phasen: Entstehung, Nutzung und Verwertung (Bünting 2009). Grundsätzlich werden beim LCC nur interne und internalisierte Kosten einbe-

²Diese Arbeit bewertet Investitionsentscheidungen auf Basis von Ein- und Auszahlungen. Die Begriffe Erlöse und Kosten werden ausschließlich dann verwendet, wenn diesen in der jeweiligen Periode Ein- bzw. Auszahlungen in der selben Höhe gegenüberstehen.

zogen, externe Kosten jedoch ausnahmsweise, wenn in Zukunft eine Internalisierung, z. B. durch Steuern, zu erwarten ist (Rebitzer & Hunkeler 2003).

Der Lebenszyklus des Verkehrsangebots richtet sich nach der betrieblichen Nutzungsdauer der Fahrzeuge, da deren Anschaffungsinvestitionen den größten Anteil an den Anfangsinvestitionen darstellen. Ally & Pryor 2016 gehen von 15 Jahren aus, die meisten Quellen rechnen mit einer Nutzungsdauer von zwölf Jahren für Busse im ÖPNV (Cooney, Hawkins & Marriott 2013; Ercan et al. 2015; Lajunen & Lipman 2016; Leuthardt 2005). Für diese Arbeit wird ein Lebenszyklus von $T = 12$ Jahren unterstellt.

Eine Übersicht der im Abschnitt 4.2 bestimmten Werte findet sich in Tabelle 4.2 (S. 36).

4.2.1 Entstehung

Die erste Phase $t = 0$ umfasst sowohl Auszahlungen für die Anschaffung und Inbetriebnahme von bspw. Maschinen und Anlagen sowie für die Bereitstellung der benötigten Infrastruktur. Sie stellen die Anfangsinvestitionen dar (Bünting 2009).

Für Verkehrsangebote im ÖPNV sind hier Anschaffungsinvestitionen $a_{\text{Ansch},i}$ für Fahrzeuge, deren erstmalige Ausrüstung $a_{\text{Rüst},i}$ sowie für die Infrastruktur a_{Infra} , z. B. Haltestellen, Betriebshof und Disposition, zu nennen. Zuschüsse für Fahrzeuge $e_{\text{Zusch},i}$ gemäß Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) gehen auf der Seite der Einzahlungen ein (Kirchhoff & Tsakarestos 2007). Da die Anfangsinvestitionen in den folgenden Szenarien jeweils mindestens 500.000 Euro betragen, greift das Unternehmen auf Fremdkapital e_{Fk} zurück. Die Einzahlungen E_0 und Auszahlungen A_0 der Entstehungsphase berechnen sich nach den Formeln 4.2.1 und 4.2.2, wobei $n_{\text{Fz},i}$ die Anzahl der Fahrzeuge des Typs i darstellt.

$$E_0 = \sum_i n_{\text{Fz},i} \cdot e_{\text{Zusch},i} + e_{\text{Fk}} \quad \forall i \in I \quad (4.2.1)$$

$$A_0 = \sum_i n_{\text{Fz},i} \cdot (a_{\text{Ansch},i} + a_{\text{Rüst},i}) + a_{\text{Infra}} \quad \forall i \in I \quad (4.2.2)$$

Anfangsinvestitionen

Zwei verschiedene Fahrzeugtypen $i \in I$ sind in den Szenarien im Einsatz: Standardbusse ($i = S$) und Minibusse ($i = M$). Den Nettokaufpreis eines zwölf Meter langen Niederflur-Standardbusses mit zwei Türen beziffert Leuthardt 2005 auf 230.000 Euro. Dabei wird von einer „Normalausstattung gemäß VDV-Rahmenempfehlungen“ (Leuthardt 2005) ausgegangen. Weitere Angaben reichen von Anschaffungsinvestitionen in Höhe von 225.000 Euro je Fahrzeug (Lajunen & Lipman 2016), umgerechnet 248.000 Euro³ (Ercan et al. 2015) bis 250.000 Euro (Underberg 2004). Für die folgenden Berechnungen wird von Anschaffungsinvestitionen für Standardbusse von $a_{\text{Ansch},S} = 230.000 \text{ €}$ ausgegangen. Eine zusätzliche Ausrüstung ist für Standardbusse nicht vorgesehen, da nur

³Ercan et al. 2015 nennen 330.000 US-Dollar im Jahr 2013, die Umrechnung erfolgt hier mit dem durchschnittlich Umrechnungskurs zwischen 01.01. und 31.12.2013 von 1:1,33 (EZB 2016).

die bereits enthaltene Normalausstattung erforderlich ist ($a_{\text{Rüst},S} = 0$). Standardbusse verfügen über eine Kapazität von bis zu 95 Sitz- und Stehplätzen (Schnieder 2015).

Daneben werden knapp sieben Meter lange Minibusse eingesetzt, ebenfalls in Niederfler-Bauweise mit zehn Sitz- sowie zwölf Stehplätzen. Die Fahrzeugdaten orientieren sich hier am Modell Sprinter City 35 von Mercedes-Benz (Daimler). Während der Hersteller selbst keine Preise veröffentlicht, wird der Nettokaufpreis von einem Busmagazin auf $a_{\text{Ansch},M} = 135.000 \text{ €}$ beziffert (Degano o. J.). Grundsätzlich ist für diesen Anwendungsfall auch die Nutzung von Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb denkbar. Um die Auswirkungen der Betriebsform auf die Zahlungsströme nicht mit solchen der Antriebsart zu vermischen, wird hier auch für die neue Angebotsform von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ausgegangen.

Für die Betriebsform des Quartiersbusses fallen Investitionen für die Fahrzeugausrüstung an, welche über die Normalausstattung hinausgeht. Die Ausrüstung umfasst Einrichtungen zur Ortung des Fahrzeugs mittels GPS sowie zur Übermittlung der aktuellen Route. Für den Richtungsbandbetrieb gehen Kirchhoff & Tsakarestos 2007 von 2.000 Euro je Fahrzeug aus, bei einer Lebensdauer der Ausstattung von fünf Jahren. Folglich gehen für die alternative Betriebsform Investitionen für die Ausrüstung in Höhe von $a_{\text{Rüst},M} = 2.000 \text{ €}$ je Minibus in die Investitionen ein. Da ihre Lebensdauer unter jener der Fahrzeuge liegt, tritt für die Fahrzeugausstattung erneut Investitionsbedarf in der Nutzungsphase auf, diese werden in Abschnitt 4.2.2 erläutert.

Infrastrukturinvestitionen werden im Rahmen dieser Wirtschaftlichkeitsanalyse nur für die neue Betriebsform des Quartiersbusses betrachtet. Für den Linienverkehr fallen keine Investitionen in die Infrastruktur an, da Haltestellen, Betriebshof und Werkstatt bestehen. Auszahlungen für den Unterhalt der Infrastruktur gehen in die jährlichen Overheadkosten ein. Im Fall des Quartiersbusses fallen Infrastrukturinvestitionen für die Dispositionssoftware und Buchungs-App an, diese werden auf $a_{\text{Infra}} = 100.000 \text{ €}$ geschätzt.

Zuschüsse für Fahrzeuge

Das Land Baden-Württemberg gewährt Zuschüsse zur Beschaffung von Fahrzeugen im Linienverkehr gemäß der Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt und Verkehr zur Gewährung von Zuwendungen für die Beschaffung von Fahrzeugen (VwV-Fahrzeuge) (Landtag BW 2002). Die Förderung gilt für Erst- oder Ersatzfahrzeuge, welche mindestens acht Jahre überwiegend im Linienverkehr nach § 42 PBefG eingesetzt werden und eine Mindestlaufleistung von 400.000 Fahrzeugkilometern erreichen. Gleiches gilt für das zu ersetzende Fahrzeug. Die Höhe der Förderung beträgt 2016 für Standardbusse 40.000 Euro, für Minibusse 20.000 Euro (MVI BW 2016). Abzüglich der Bearbeitungsgebühren in Höhe von 1,5 Prozent gilt somit $e_{\text{Zusch},S} = 39.400 \text{ €}$ und $e_{\text{Zusch},M} = 19.700 \text{ €}$.

Fremdkapital

Es wird angenommen, dass die Anfangsinvestitionen für Fahrzeuge und Infrastruktur fremdfinanziert werden. Die Höhe des Fremdkapitals e_{Fk} richtet sich nach den Anschaffungsinvestitionen der Fahrzeuge und ggf. ihrer Ausrüstung abzüglich der gewährten Zuschüsse, da diese bereits vor Beschaffung der Fahrzeuge bereitstehen (MVI BW 2016) und direkt in die Finanzierung eingehen. Falls Infrastrukturinvestitionen anfallen, sollen diese ebenfalls durch Fremdkapital finanziert werden. Formel 4.2.3 berechnet deren Höhe:

$$e_{\text{Fk}} = \sum_i (n_{\text{Fz},i} \cdot (a_{\text{Ansch},i} + a_{\text{Rüst},i} - e_{\text{Zusch},i})) + a_{\text{Infra}} \quad \forall i \in I \quad (4.2.3)$$

Der aufgenommene Kredit wird zu den in Abschnitt 4.2.2 genannten Konditionen über die Nutzungszeit getilgt.

4.2.2 Nutzung

In die Nutzungsphase fallen alle Folgekosten der Investitionsentscheidung, einschließlich der Kosten zur Erhalt der Funktion (Bünting 2009). Die Erlöse während des Lebenszyklus fallen fast ausschließlich in diese Phase.

Die Personalkosten im Fahrdienst stellen den größten Anteil an den Auszahlungen dar (Friedrich, Schlaich & Schleupen 2007), hinzu kommen Personalkosten für telefonische Fahrtanmeldungen in der alternativen Betriebsform. Die Auszahlungen zur Tilgung des Kredits wurden bereits erwähnt, hinzu kommen jährliche Zinsen. Treib- und Schmierstoffkosten gehen als Antriebskosten in die entfernungsabhängigen Kosten ein, darüber hinaus Instandhaltungskosten und - aufgrund ihres großen Anteils gesondert betrachtet - Reifenkosten, sowie Kosten zur täglichen Versorgung der Fahrzeuge. Hinzukommen ggf. Kosten für die Fahrzeugausstattung, Overheadkosten, welche Kosten der Verwaltung und Infrastruktur abdecken, sowie Steuern und Versicherung.

Erlöse werden insbesondere durch den Fahrkartenverkauf erzielt, ggf. einschließlich Komfortzuschlägen für die alternative Betriebsform. Hinzukommen gesetzliche Ausgleichszahlungen für die ermäßigte Schüler- und entgeltlose Schwerbehindertenbeförderung (Kirchhoff & Tsakareostos 2007).

Die Formeln 4.2.4 und 4.2.5 ermitteln die jährlichen Auszahlungen A_t und Einzahlungen E_t der Nutzungsphase, die folgenden Abschnitte erläutern die einzelnen Bestandteile und deren Zusammensetzung.

$$A_t = A_{\text{F}} + A_{\text{Pt}} + A_{\text{Antr},t} + A_{\text{Instand}} + A_{\text{Reifen}} + A_{\text{tglV}} \\ + A_{\text{Oh}} + A_{\text{Ausst},t} + A_{\text{Kap},t} + A_{\text{Vers}} + A_{\text{St}} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (4.2.4)$$

$$E_t = E_{\text{Fahr}} + E_{\text{Ausgl}} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (4.2.5)$$

Personalkosten im Fahrdienst

Neben dem Arbeitnehmerentgelt sind die Lohnnebenkosten Bestandteil der Personalkosten. Gemäß Bezirkstarifvertrag für die kommunalen Nahverkehrsbetriebe Baden-Württemberg (BzTV-N BW) erhält ein/e Mitarbeiter/in im Fahrdienst (Entgeltgruppe F) abhängig von der Dauer der Betriebszugehörigkeit ein monatliches Arbeitnehmerentgelt zwischen 2.612,95 Euro und 2.875,34 Euro (Verdi o. J.). Zur Vereinfachung wird für alle Angestellten im Fahrdienst von Lohnstufe 3 ausgegangen, wofür eine Betriebszugehörigkeit von sechs bis acht Jahren Voraussetzung ist. Somit ergibt sich ein Monatsentgelt von 2.717,66 Euro bzw. ein Stundenentgelt von $a_F = 16,03 \text{ €}^4$. Hinzu kommen Zuschläge b_z für die Arbeitszeit t_z , die nachts, an Wochenenden und Feiertagen anfällt, deren Höhe sich nach § 11 I BzTV-N BW. Die Zuschläge b_z für jede Art des Zuschlags z sind in Tabelle 4.1 enthalten.

Die einzelnen Fahrten werden unter Berücksichtigung des BzTV-N BW, der Fahrpersonalverordnung (FPersV) und des Arbeitszeitgesetzes (ArbZG) zu Diensten zusammengefügt (s. Tabelle A.3 im Anhang) und so die resultierende Arbeitszeit ermittelt. Neben der Beförderungszeit fallen weitere Zeiten an, welche in die Arbeitszeit der Mitarbeiter/innen im Fahrdienst eingehen. Für Vorbereitungs- und Abschlusszeiten (Rüstzeiten) werden fünf Minuten bei Ablösung an der Strecke bzw. zehn Minuten bei Dienstbeginn und -ende am Betriebshof angenommen. Ebenso gehören Leerfahrzeiten für Ein- und Aussetzfahrten zwischen Betriebshof und Linienweg zur Arbeitszeit. Zwischen zwei Linienfahrten wird eine Wendezeit gewährt, welche als zeitlicher Puffer bei Verspätungen und zur Vorbereitungen der Folgefahrt dient. Planmäßige Wendezeiten gelten als Bereitschaftszeit, wenn diese „innerhalb der Dienstschicht insgesamt eine Stunde überschreiten“ (Anlage 3 § 4 I BzTV-N BW), welche zu 50 Prozent vergütet werden (§ 11 IV BzTV-N BW). Als Pausen sind Wendezeiten ab einer Länge von acht Minuten anrechenbar (§ 4 II BzTV-N BW). Die jährliche Arbeitszeit t_{AZ} berechnet sich nach Formel 4.2.6 aus der Arbeitszeit der Verkehrstage $t_{AZ,w}$ bzw. aus der Arbeitszeit der einzelnen Dienste $t_{AZ,d,w}$. D stellt die Menge aller Dienste dar, d_w gibt die durchschnittliche Anzahl der Verkehrstage $w \in W$ pro Jahr wieder.

$$t_{AZ} = \sum_w d_w \cdot t_{AZ,w} = \sum_w \sum_d d_w \cdot t_{AZ,d,w} \quad \forall d \in D, w \in W \quad (4.2.6)$$

Bei der Angabe der Arbeitszeit t_{AZ} in den einzelnen Szenarien werden die unbezahlten Zeiteile nicht berücksichtigt. Auf die Erstellung einer Dienstreihenfolge kann verzichtet werden, da sie keine Auswirkungen auf die Kosten und Erlöse hat.

Die Lohnnebenkosten umfassen einerseits solche „aufgrund gesetzlicher und tariflicher Bestimmungen (z. B. Arbeitgeberanteile zur Sozialversicherung, bezahlte Abwesenheit wie Urlaub, Feiertage oder Krankheit)“ (Becker & Lutz 2007) sowie freiwillige Lohnne-

⁴Zugrunde liegen die tarifvertraglichen 39 Wochenstunden (§ 9 I BzTV-N BW) und 4,348 Wochen pro Monat (§ 7 IV BzTV-N BW).

Tabelle 4.1: Arbeitszeiten mit Zuschlaggewährung gemäß § 11 I BzTV-N BW

Arbeitszeit mit Zuschlag	z	b_z
Nacht (20 bis 6 Uhr)	N	3,08 €/h
Sonntag	So	3,85 €/h
Feiertag	Fei	5,39 €/h
24. und 31.12. ab 13 Uhr	HS	6,16 €/h
Samstag vor Ostern u. Pfingsten ab 13 Uhr	OP	3,08 €/h
Samstag zwischen 13 und 20 Uhr	San	0,81 €/h

benkosten, z.B. für Aus- und Weiterbildung. 2015 zahlten Arbeitgeber in Deutschland Lohnnebenkosten in Höhe von durchschnittlich 28 Prozent des Bruttoverdiensts (Destatis 2016). Dieser Wert wird auch hier zur Berechnung der Personalkosten im Fahrdienst A_F durch den Faktor $f_{\text{Neben}} = 0,28$ in Formel 4.2.7 zur Berücksichtigung der Lohnnebenkosten herangezogen.

$$A_F = (a_F \cdot t_{AZ} + \sum_z (b_z \cdot t_z)) \cdot (1 + f_{\text{Neben}}) \quad \forall z \in \{1, \dots, 6\} \quad (4.2.7)$$

Neben der Arbeitszeit laut Dienstplan fallen für Fahrerinnen und Fahrer weitere bezahlte Arbeitsstunden bzw. Zeiten mit Lohnfortzahlung t_{sonst} an. Diese Zeiten sind bereits durch den Faktor f_{Neben} in den Arbeitskosten A_F enthalten, müssen jedoch für die Berechnung der erforderlichen Fahrerinnen und Fahrer beziffert werden. Für Schulungen werden pauschal zwei jährliche Arbeitstage angesetzt, außerdem werden Lohnfortzahlungen im Urlaub und an Feiertagen sowie bei Krankheit gewährt. Der Urlaubsanspruch beträgt 30 Arbeitstage je Kalenderjahr (§ 15 III BzTV-N BW), hinzu kommen elf gesetzliche Feiertage in Baden-Württemberg. Für die Kosten durch Krankheit wird angenommen, dass Fahrerinnen und Fahrer aufgrund der Belastungen durch Schichtarbeit etwas häufiger durch Krankheit ausfallen, als ein durchschnittlicher Arbeitnehmer, welcher im Jahr 2015 zehn Tage krankheitsbedingt fehlte (IAB 2016). Hier wird eine durchschnittliche Ausfallzeit durch Krankheit von elf Tagen pro Jahr und Mitarbeiter/in angenommen. Bei einer täglichen Arbeitszeit von 7,8 Stunden gilt $t_{\text{sonst}} = 421,2$ Stunden. Ausgehend von einer jährlichen Bruttoarbeitszeit von $t_{AZ, \text{brutto}} = 2.034,9$ Stunden, verbleibt demnach je Fahrdienstpersonal eine jährliche Nettoarbeitszeit für die Arbeit laut Dienstplan von $t_{AZ, \text{netto}} = 1.613,7$ h. Daraus kann für die Szenarien die Anzahl der Arbeitsplätze im Fahrdienst mit Formel 4.2.8 angenähert werden.

$$n_F = \frac{t_{AZ}}{t_{AZ, \text{netto}}} \quad (4.2.8)$$

Für eine abschließende Ermittlung des Personalbedarfs ist aufgrund der ungleichmäßigen Verteilung der Arbeitszeit über den Tag und die Woche die Erstellung einer Dienstreihenfolge unerlässlich.

Personalkosten für Fahrtanmeldungen

In der alternativen Betriebsform fallen zusätzliche Personalkosten für die Entgegennahme telefonischer Fahrtanmeldungen an. Die Anrufe werden von Angestellten der Verwaltung oder (außerhalb der regulären Arbeitszeiten) der Betriebszentrale angenommen und die Daten in die Dispositionssoftware übernommen. Angestellte der Entgeltgruppe 3, Stufe 3 erhalten ein Monatsentgelt in Höhe von 2.439,47 Euro bzw. $a_{Pt} = 14,39 \text{ €/h}$ (Anlage 2 BzTV-N BW). Um die Kosten gering zu halten, sollen in der Kundenkommunikation Anreize geschaffen werden, Fahrtwünsche digital zu übermitteln. Es wird angenommen, dass 20 Prozent der Fahrtanmeldungen x_M telefonisch übermittelt werden und ein Arbeitsaufwand zur Entgegennahme und Dateneingabe durchschnittlich zwei Minuten (bzw. 0,03 Stunden) je Anruf dauert. Insgesamt summiert sich die jährlich dafür aufgewendete Arbeitszeit zu

$$t_{Pt} = 0,2 \cdot 0,03 \cdot x_M \quad (4.2.9)$$

Analog zu den Personalkosten im Fahrdienst werden die Lohnnebenkosten durch den Faktor f_{Neben} in die Berechnung der Kosten für Fahrtanmeldungen A_{Pt} in Formel 4.2.10 einbezogen.

$$A_{Pt} = a_{Pt} \cdot t_{Pt} \cdot (1 + f_{Neben}) \quad (4.2.10)$$

Antriebskosten

Zur Berechnung der Antriebskosten sind Diesel- und Schmierstoffkosten $a_{Diesel,t}$ und $a_{Schmier}$ (in €/l) sowie der streckenabhängige Verbrauch an Treib- und Schmierstoffen $q_{Treib,i}$ (in l/100 km) in Abhängigkeit von Fahrzeugtyp i zu ermitteln. Die Jahresleistung je Fahrzeugtyp L_i wird für jedes Szenario einzeln ermittelt.

$$A_{Antr,t} = (a_{Diesel,t} + a_{Schmier}) \cdot 0,01 \sum_i q_{Treib,i} \cdot L_i \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, i \in I \quad (4.2.11)$$

Der Dieselpreis war in den letzten 15 Jahren starken Schwankungen zwischen 0,804 und 1,524 Euro je Liter unterlegen und liegt derzeit mit $a_{Diesel,0} = 1,069 \text{ €/l}$ (Mittelwert der Monate Oktober 2015 bis September 2016, ADAC 2016) relativ niedrig. Aufgrund seiner Abhängigkeit von der weltweiten wirtschaftlichen und politischen Entwicklung sowie der Fördermenge an Rohöl und der Preisbildung der Organisation der erdölexportierenden Länder (OPEC), ist eine Prognose der Entwicklung des Dieselpreises sehr schwierig. Einigkeit besteht jedoch darin, dass Rohöl- und somit Dieselpreise in den kommenden Jahren steigen werden (BMVBS 2016; Schlesinger, Lindenberger & Lutz 2014). Eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS 2016) kommt zu dem Ergebnis, dass Rohölpreise zwischen 2010 und 2030 um 52 Prozent bzw. jährlich um 2,1 Prozent ($f_{Rohöl} = 0,021$) steigen werden. Diese Prognose „deckt sich mit den Langfristprognosen der Internationalen Energieagentur

und der US-amerikanischen Energy Information Administration“ (BMVBS 2016). Für die Berechnung sind weiterhin die Zusammensetzung des Dieselpreises und Steuerentlastungen für den ÖPNV von Bedeutung, da sich die Preissteigerung für Rohöl ausschließlich auf den Dieselproduktpreis auswirkt. Der Dieselpreis setzt sich zusammen aus dem Dieselproduktpreis, Steuern und Abgaben sowie Kosten des Tankstellenbetreibers (Schermer & Schöning 2014). Die Mehrwertsteuer in Höhe von 19 Prozent kann nach § 15 I Umsatzsteuergesetz (UStG) abgezogen werden ($s_{Mw} = 0,19$). Darüber hinaus fallen die Energiesteuer von $s_{En} = 0,470 \text{ €/l}$ gemäß § 2 I 4b Energiesteuergesetz (EnergieStG) und der Beitrag zum Erdölbevorratungsverband von $b_{Bev} = 0,003 \text{ €/l}$ (§ 23 I Erdölbevorratungsgesetz (ErdölBevG), Erdölbevorratungsverband 2012) an. Die Kosten des Tankstellenbetreibers, die auf 0,10 bis 0,15 Euro je Liter beziffert werden (Schermer & Schöning 2014), gehen hier mit $k_{Ta} = 0,125 \text{ €/l}$ in die Berechnung ein. Vom aktuellen Endverbraucherpreis für einen Liter Diesel entfallen demnach 0,769 Euro auf Steuern und Abgaben sowie Kosten des Tankstellenbetreibers und 0,300 Euro machen den Dieselproduktpreis im Einkauf aus.

Für den ÖPNV sieht das EnergieStG Entlastungen in Höhe von 0,054 Euro je Liter (§ 56 II 1) vor, sodass die Energiesteuern sich auf $s_{EnÖV} = 0,416 \text{ €/l}$ verringern.

$$\begin{aligned} a_{\text{Diesel},t} &= (1 + f_{\text{Rohöl}})^t \cdot \left(\frac{a_{\text{Diesel},0}}{1 + s_{Mw}} - s_{En} - b_{Bev} - k_{Ta} \right) + s_{EnÖV} + s_{Bev} + k_{Ta} \\ &= (1 + f_{\text{Rohöl}})^t \cdot 0,300 + 0,544 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \end{aligned} \quad (4.2.12)$$

Für die Schmierstoffkosten berechnen Frank, Friedrich & Schlaich 2008 pauschal 10 Prozent der Treibstoffkosten, dieser Kostensatz wird hier übernommen und geht mit

$$a_{\text{Schmier}} = 0,1 \cdot a_{\text{Diesel},0} \quad (4.2.13)$$

in Formel 4.2.11 zur Berechnung der Antriebskosten ein.

Der Internationale Verband für öffentliches Verkehrswesen (UITP 2014) identifiziert in einem Projekt zu standardisierten Zyklen für Straßentests neben der Motorleistung die Fahrzeugbesetzung, Topografie und Stetigkeit des Verkehrsflusses als Einflussgrößen für den Treibstoffverbrauch. Da diese jeweils Auswirkungen auf die Beförderungsgeschwindigkeit v_{Bef} haben, wird diese als maßgebende Größe zur Bestimmung des Treibstoffverbrauchs für die Fahrzeugtypen i herangezogen. Im Stadtverkehr mit einer Beförderungsgeschwindigkeit von $v_{Bef} = 20 \text{ km/h}$ wird von Frank, Friedrich & Schlaich 2008 ein Treibstoffverbrauch von 42 l/100 km für Standardbusse genannt. Jedoch führt „eine Erhöhung der Fahrplangeschwindigkeit um 5 km/h [...] zu einem um 20 % geringerem Verbrauch“ (UITP 2011), sodass dieser Verbrauchswert für die Beförderungsgeschwindigkeit von $v_{Bef} = 23,8 \text{ km/h}$ (s. Abschnitt 4.4) als zu hoch anzusehen ist. Pütz 2010 berechnet den Kraftstoffverbrauch von Standardbussen in Abhängigkeit von der Einsatzgeschwindigkeit. Für eine Einsatzgeschwindigkeit von 24,0 km/h ergibt sich ein Verbrauch von 39,3 l/100 km. Für diese Wirtschaftlichkeitsanalyse wird ein

Kraftstoffverbrauch für Standardbusse von $q_{\text{Treib,S}} = 40,0$ l/100 km angenommen. Für Minibusse konnten weder allgemeine Modelle zum Kraftstoffverbrauch noch konkrete Werte zum Modell Sprinter City 35 gefunden werden. Die größeren Busse der Modellreihe Sprinter City weisen im Stadtverkehr einen Kraftstoffverbrauch von 18,23 l/100 km (Sprinter City 65 bei durchschnittlich 22,2 km/h, Tschakert 2016) bzw. 19,7 l/100 km (Sprinter City 77 bei durchschnittlich 25,0 km/h, Görgler 2014) auf. Daraus wird der Verbrauch für den Minibus, der in Schorndorf eingesetzt wird, mit $q_{\text{Treib,M}} = 17,0$ l/100 km angenähert.

Instandhaltungskosten

In der Instandhaltung der Fahrzeuge fallen Arbeitskosten für das Werkstattpersonal A_{Instand} an. Diese werden in Abhängigkeit von Anzahl n_{Fz} und Ausstattung der Fahrzeuge sowie der jährlichen Laufleistung L in Formel 4.2.14 (Frank, Friedrich & Schlaich 2008) berechnet. Enthalten sind Kosten für die „technische Instandhaltung sowie die Werkstattverwaltung“ (Frank, Friedrich & Schlaich 2008), nicht jedoch für die tägliche Versorgung der Fahrzeuge.

$$A_{\text{Instand}} = f_w \cdot f_a \cdot A_W \cdot f_g \cdot n_{\text{Fz}} \cdot (0,35 + 0,65 \cdot \frac{L}{n_{\text{Fz}} \cdot 60.000}) \quad (4.2.14)$$

Der Werkstattpersonalfaktor f_w bezieht die erforderliche Arbeitszeit je Fahrzeug ein. Die VDV-Richtlinie 881 (VDV 2006) empfiehlt $f_w = 0,1$ Personaljahre je Fahrzeug und Jahr. Ein erhöhter Wartungsaufwand für Sonderausstattungen wird durch den Faktor f_a berücksichtigt. Dieser richtet sich nach der unterstellten Fahrzeugausstattung und wird nach Formel 4.2.15 berechnet. Elf Ausstattungsmerkmalen j haben Friedrich, Schlaich & Schleupen 2007 einen Wert f_j zugeordnet, der den zusätzlichen Wartungsaufwand abbildet (s. Tabelle A.6 im Anhang). Dabei nimmt y_j den Wert Eins an, sofern die Fahrzeuge über Ausstattungsmerkmal j verfügen, andernfalls gilt $y_j = 0$.

$$f_a = 1 + \sum_j n_{\text{Fz}} \cdot f_j \cdot y_j \quad \forall j \in \{1, \dots, 11\} \quad (4.2.15)$$

Aufgrund der angenommenen Fahrzeugausstattung ergibt sich jeweils der Faktor $f_a = 1,34$ für beide Fahrzeugtypen.

Die jährlichen Arbeitskosten für Werkstattpersonal A_W setzen sich aus dem Monatsentgelt $a_W = 2.695,79$ € der Entgeltgruppe 6, Stufe 3 (Anhang 2 BzTV-N BW) und den Lohnnebenkosten, einbezogen durch den Faktor $f_{\text{Neben}} = 0,28$, zusammen:

$$A_W = 12 \cdot a_W \cdot (1 + f_{\text{Neben}}) \quad (4.2.16)$$

Der Faktor f_g zur Berücksichtigung der Beförderungsgeschwindigkeit v_{Bef} kalkuliert einen höheren Verschleiß durch häufiges Beschleunigen und Abbremsen sowie häufige Fahrgastwechsel bspw. bei hoher Haltestellendichte ein. Als Indikator dafür wird die Be-

förderungsgeschwindigkeit v_{Bef} herangezogen, sodass sich f_g folgendermaßen berechnet (Frank, Friedrich & Schlaich 2008):

$$f_g = 0,0002 \cdot v_{\text{Bef}}^2 - 0,03 \cdot v_{\text{Bef}} + 1,52 \quad (4.2.17)$$

Die Instandhaltungskosten sind demnach zu 65 Prozent abhängig von der jährlichen Laufleistung L (Friedrich, Schlaich & Schleupen 2007). Letztere geht insofern in die Rechnung ein, als dass sie die Instandhaltungskosten erhöht, wenn die erwartete Jahreslaufleistung je Fahrzeug von 60.000 Fahrzeugkilometern pro Jahr überschritten wird, und andernfalls verringert. Voraussetzung für eine realistische Abbildung der Instandhaltungskosten ist, dass sich die jährliche Laufleistung gleichmäßig auf die einzelnen Fahrzeuge verteilt.

Reifenkosten

Hinzu kommen die Reifenkosten, welche in Abhängigkeit von der Laufleistung zur Beförderung l_{Bef} und der Beförderungsgeschwindigkeit v_{Bef} in Formel 4.2.18 berechnet werden (Frank, Friedrich & Schlaich 2008):

$$A_{\text{Reifen}} = a_{\text{Reifen}} \cdot l_{\text{Bef}} \quad (4.2.18)$$

Die Beförderungsgeschwindigkeit dient der Unterscheidung zwischen Stadt- und Regionalverkehr, da „im Stadtverkehr der Reifenseitenwandverschleiß [...], im Regionalverkehr der Laufflächenverschleiß“ maßgebend ist. Weil die Seitenwände der Reifen anfälliger für Verschleiß sind, sinken der Kostensatz a_{Reifen} mit steigender Beförderungsgeschwindigkeit v_{Bef} (Frank, Friedrich & Schlaich 2008):

$$a_{\text{Reifen}} = 0,21 - 0,003 \cdot v_{\text{Bef}} \quad \forall 20 < v_{\text{Bef}} \leq 30 \quad (4.2.19)$$

Fahrzeugausstattung

Wie in Abschnitt 4.2.1 vorweggenommen, muss die Ausstattung für Minibusse M aufgrund ihrer Nutzungsdauer nach jeweils fünf Jahren ersetzt werden. Es gilt somit

$$A_{\text{Ausst},t} = n_{\text{Fz},M} \cdot 2.000 \quad \forall t \in \{5, 10\} \quad (4.2.20)$$

$$A_{\text{Ausst},t} = 0 \quad \text{sonst} \quad (4.2.21)$$

Für den Linienverkehr bzw. Fahrzeugtyp S fallen keine Ausstattungsinvestitionen an.

Kosten zur täglichen Versorgung

Kosten für Reinigung, Tanken, Rangieren sowie das Auswechseln von Fahrzeugen fallen unter die Kosten zur täglichen Versorgung der Fahrzeuge. Den Kostensatz in Abhängigkeit von der Laufleistung zur Beförderung beziffern Frank, Friedrich & Schlaich 2008

auf $a_{\text{tgIV}} = 0,09 \text{ €/km}$.

$$A_{\text{tgIV}} = a_{\text{tgIV}} \cdot l_{\text{Bef}} \quad (4.2.22)$$

Overheadkosten

Abschließend kommen sogenannte Overheadkosten A_{Oh} für Verwaltung, Kosten- und Betriebsmanagement sowie Unterhalt der Infrastruktur hinzu. Diese sind einerseits von der jährlichen Laufleistung zur Beförderung l_{Bef} , andererseits von der Größe des Unternehmens und des Verkehrsgebiets abhängig (Frank, Friedrich & Schlaich 2008):

$$A_{\text{Oh}} = a_{\text{Oh}} \cdot f_v \cdot l_{\text{Bef}}. \quad (4.2.23)$$

Der Kostensatz a_{Oh} richtet sich nach der Größe des Verkehrsunternehmens, ausgedrückt in der Anzahl der Fahrzeuge n_{Fz} , wobei gilt (Frank, Friedrich & Schlaich 2008):

$$a_{\text{Oh}} = 0,4 + \frac{n_{\text{Fz}}}{750} \quad \forall n_{\text{Fz}} \leq 150 \quad (4.2.24)$$

Die Größe des Verkehrsgebiets wird indirekt durch den Faktor f_v einbezogen, welcher mit zunehmender Beförderungsgeschwindigkeit v_{Bef} sinkt. Wie in Formel 4.2.19 bei der Berechnung des Kostensatzes a_{Reifen} , dient die Fahrplangeschwindigkeit der Unterscheidung von Stadt- und Regionalverkehr. Dahinter steht die Erkenntnis, dass die Kosten im Stadtverkehr (mit geringer Beförderungsgeschwindigkeit) aufgrund einer höheren Haltestellendichte und aufwendigerem Betriebsmanagement höher sind als im ländlichen Raum, wo höhere Geschwindigkeiten erreicht werden (Frank, Friedrich & Schlaich 2008).

$$f_v = 2,5 - 0,06 \cdot v_{\text{Bef}} \quad \forall 20 < v_{\text{Bef}} \leq 30 \quad (4.2.25)$$

Tilgung und Zinsen

Der Kredit in Höhe von e_{Fk} wird in jährlich gleichbleibenden Raten getilgt. Die jährlichen Auszahlungen $A_{\text{Kap},t}$, bestehend aus Tilgung und Zinsen, bestimmt Formel 4.2.26. Der jährliche Zinssatz wird mit 2,83 Prozent angenommen. Dieser richtet sich nach dem Effektivzins, zu dem die Kreditanstalt für Wiederaufbau Unternehmerkredite mit einer Laufzeit von zehn Jahren bei mittlerem Risiko⁵ gewährt (KfW 2016). Es gilt $p_{\text{Fk}} = 0,0283$.

$$A_{\text{Kap},t} = e_{\text{Fk}} \cdot \left(\frac{1}{T} + \left(1 - \frac{t-1}{T} \right) \cdot p_{\text{Fk}} \right) \quad (4.2.26)$$

Versicherung

Für die Fahrzeugversicherung gehen jährliche Kosten von $a_{\text{Vers,S}} = 2.000 \text{ €/a}$ je Standardbus in die Nutzungskosten ein (Leuthardt 2005). Da für Minibusse keine Daten zu Versicherungskosten vorliegen, werden diese geschätzt unter der Annahme, dass

⁵Kreditprogramm-Nummer 47, Preisklasse E

das Verhältnis von Versicherungs- und Anschaffungsinvestitionen bei beiden Bustypen gleich ist. So ergibt sich $a_{\text{Vers},M} = 1173,91 \text{ €/a}$. Die jährlichen Versicherungskosten für alle Fahrzeuge A_{Vers} ergeben sich aus Formel 4.2.27.

$$A_{\text{Vers}} = \sum_i n_{\text{Fz},i} \cdot a_{\text{Vers},i} \quad \forall i \in I \quad (4.2.27)$$

Steuern

Wie im Abschnitt 3.1.1 dargelegt, ist für den Linienverkehr der verringerte Mehrwertsteuersatz von sieben Prozent auf die Erlöse aus dem Verkauf von Fahrkarten zu zahlen (§ 12 II 10 UStG). Es gilt $s_{\text{vMw}} = 0,07$. Formel 4.2.28 berechnet die zu zahlenden Steuern.

$$A_{\text{St}} = \frac{s_{\text{vMw}}}{1 + s_{\text{vMw}}} \cdot E_{\text{Fahr}} \quad (4.2.28)$$

Dabei stellen E_{Fahr} die Erlöse aus dem Fahrkartenverkauf dar, welche nachfolgend erläutert werden.

Umsatzerlöse Fahrkarten

Der Großteil der Einzahlungen wird durch den Verkauf von Fahrkarten generiert. Es werden neben Einzeltickets Mehrfahrten- und verschiedene Zeitfahrkarten angeboten. Die Preise der Fahrkarten s richten sich nach den aktuellen Preisen des VVS (VVS 2016 c) und werden in Tabelle A.7 im Anhang in Preise p_s je Fahrt umgerechnet. Da keine Daten dazu vorliegen, wie viele Fahrgäste in Schorndorf welche Art der Fahrkarte wählen, wird auf eine Erhebung im Rahmen der Studie Mobilität in Deutschland (MiD) zurückgegriffen (Follmer et al. 2009). Abbildung 4.1 stellt den Anteil q_s der mit Fahrkartenart s zurückgelegten Wege an der Gesamtheit aller mit dem ÖPNV zurückgelegten Wege dar⁶. Die Anzahl der mit Linienverkehr und Quartiersbus bestrittenen Fahrten x_S bzw. x_M wird in den einzelnen Szenarien genannt. Für eine Fahrt mit dem Quartiersbus wird ein Komfortzuschlag erhoben. Dalkmann & Ötting 2004 nennen Komfortzuschläge anderer Verkehrsunternehmen zwischen 0,30 und 2,00 Euro je Fahrt. Für diese Wirtschaftlichkeitsanalyse wird der Komfortzuschlag mit $p_k = 0,50 \text{ €}$ eher gering angesetzt, da es sich um einen Ersatz des Linienverkehrs handelt. Außerdem soll eine Auswirkung auf die Fahrgastzahlen durch eine Preissteigerung vermieden werden. Unter der Annahme, dass die alternative Betriebsform in das bestehende Tarifsystem des VVS integriert wird, summiert sich der Preis für eine Fahrt im Quartiersbus mit Fahrkartenart s zu $p_s + p_k$. Formel 4.2.29 berechnet die Erlöse sowohl aus Linienverkehr

⁶ „Anderes Ticket“ (Follmer et al. 2009) wird nicht spezifiziert. Der Preis p_6 berechnet sich unter der Annahme, dass die unentgeltliche Beförderung von Schwerbehinderten mit einem Fahrgastanteil von 2,8 Prozent (MSI BW 2016, s. f_{Schwer} im folgenden Abschnitt) in diese Fahrkartenart fällt. Eine Aussage über andere Fahrpreise, die in $s = 6$ enthalten sind, kann nicht getroffen werden, sodass für die anderen Fahrgäste mit dieser Fahrkartenart der Mittelwert aller anderen Ticketpreise Eingang findet.

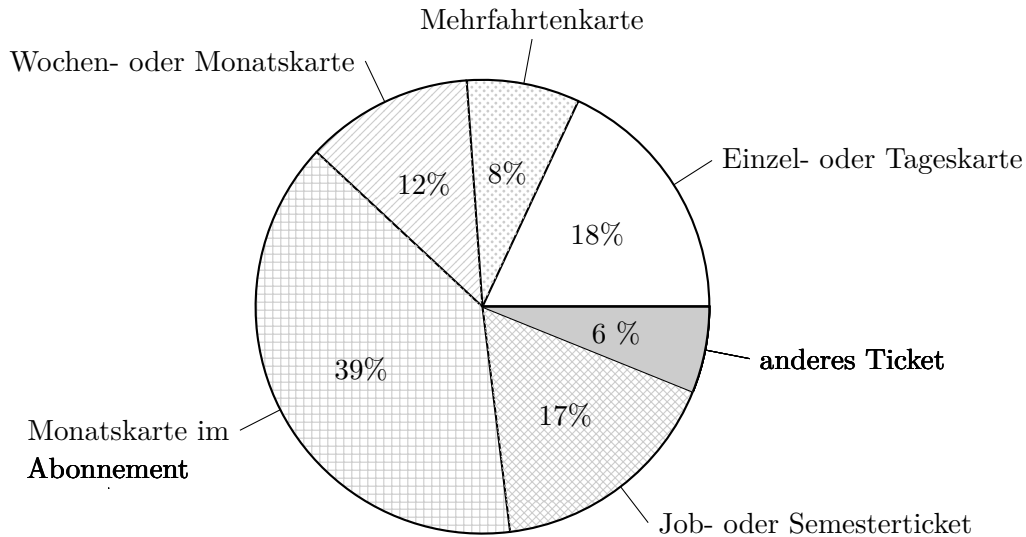


Abbildung 4.1: Anteil der Wege im ÖPNV nach Art der Fahrkarte (eigene Abbildung, Daten aus Follmer et al. 2009)

als auch Quartiersbus:

$$E_{\text{Fahr}} = \sum_{s=1}^6 x_S \cdot q_s \cdot p_s + \sum_{s=1}^6 x_M \cdot q_s \cdot (p_s + p_k) \quad (4.2.29)$$

Erlöse durch Ausgleichszahlungen

Sowohl für die Beförderung von Schülerinnen und Schülern zu einem ermäßigtem Tarif als auch für die unentgeltliche Beförderung schwerbehinderter Menschen erhält das Verkehrsunternehmen Ausgleichszahlungen (s. Abschnitt 3.1). Die Höhe der Ausgleichszahlungen ist für die Zukunft aufgrund ihrer Abhängigkeit „von der allgemeinen Haushaltslage und den politischen Mehrheiten [...] nicht vorhersagbar“ (Kirchhoff & Tsakarestos 2007). Deshalb wird davon ausgegangen, dass diese in derzeitiger Höhe für die Zukunft beibehalten werden.

Das PBefG sieht für den Ausbildungsverkehr einen Ausgleich in Höhe der Hälfte der Differenz zwischen Kosten a_{Ausb} und Erlösen e_{Ausb} durch Zeitfahrkarten von Schülerinnen und Schülern vor (§ 45a I und II PBefG). Die Verordnung über den Ausgleich gemeinwirtschaftlicher Leistungen im Straßenpersonenverkehr (PBefAusglV) bestimmt, dass die mittlere Reiseweite im Ausbildungsverkehr $\bar{s}_{R, \text{Ausb}} = 5$ km beträgt („wenn überwiegend Orts- und Nachbarortslinienverkehr betrieben wird“, § 3 IV PBefAusglV) und weiterhin, dass $k_{\text{Ausb}} = 2,3$ Fahrten je Gültigkeitstag d_{Schule} der Zeitfahrkarte zurückgelegt werden (§ 3 II PBefAusglV). Es wird von $d_{\text{Schule}} = 190$ Schultagen je Jahr

ausgegangen. Somit berechnen sich die Kosten des Ausbildungsverkehrs wie folgt:

$$a_{\text{Ausb}} = x_{\text{Ausb}} \cdot \bar{s}_{\text{R, Ausb}} \cdot k_{\text{Ausb}} \cdot d_{\text{Schule}} \cdot a_{\text{km}} \quad (4.2.30)$$

Die spezifischen Kosten je Personenkilometer und die Anzahl der Personen im Ausbildungsverkehr sind individuell nach der Anlage zu § 2 PBefAusglV zu ermitteln. Hier werden die Kosten je Personenkilometer a_{km} mit

$$a_{\text{km}} = \frac{\sum_t A_t}{T \cdot x \cdot \bar{s}_{\text{R}}} \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (4.2.31)$$

angenähert. Dafür stellt x die Anzahl der jährlichen Fahrgäste dar, die mittlere Reiseweite soll $\bar{s}_{\text{R}} = 3,9$ km betragen (s. Abschnitt 4.3).

Die Erlöse e_{Ausb} aus dem Verkauf von ermäßigten Zeitfahrkarten im Ausbildungsverkehr ergeben sich aus deren Menge und Preis zu

$$e_{\text{Ausb}} = 12 \cdot x_{\text{Ausb}} \cdot \sum_{v=1}^3 (q_v \cdot p_v) + x_{\text{Ausb}} \cdot \frac{x_{\text{M}}}{x} \cdot k_{\text{Ausb}} \cdot d_{\text{Schule}} \cdot p_{\text{k}} \quad (4.2.32)$$

wobei der Term links die Erlöse aus Zeitfahrkarten im Ausbildungsverkehr bestimmt und die rechte Seite die Erlöse durch den Komfortzuschlag p_{k} im Quartiersbus berechnet. Die Anzahl der Fahrgäste im Ausbildungsverkehr x_{Ausb} wird im Abschnitt 4.4.2 bestimmt. q_v stellt den Anteil der Fahrgäste mit Ticketart v dar. Es wird unterstellt, dass 20 Prozent eine Monatskarte ($v = 1$), 70 Prozent eine Monatskarte im Abonnement ($v = 2$) und 10 Prozent ein Semesterticket ($v = 3$) erwerben. Die Monatskarte für Schüler kostet $p_1 = 46,00$ €, im Abonnement $p_2 = 41,55$ € und ein Semesterticket $199,00$ € ($p_3 = 33,17$ € je Monat), jeweils gültig für eine Tarifzone (VVS 2016 c).

Die Ausgleichszahlungen für die Beförderung schwerbehinderter Menschen wird nach § 148 I SGB IX durch einen jährlich von der Landesregierung festgelegten Prozentsatz der erzielten Erlösen aus Fahrkarten E_{Fahr} gewährt. Die Höhe des Prozentsatzes richtet sich nach dem Anteil, den schwerbehinderte Menschen an der Gesamtbevölkerung ausmachen. Für die Jahre 2013 bis 2015 lag der Anteil bei durchschnittlich 2,8 Prozent (MSI BW 2016). Somit geht der Faktor $f_{\text{Schwer}} = 0,028$ folgendermaßen in Formel 4.2.33 ein:

$$E_{\text{Ausgl}} = \frac{a_{\text{Ausb}} - e_{\text{Ausb}}}{2} + f_{\text{Schwer}} \cdot E_{\text{Fahr}}. \quad (4.2.33)$$

4.2.3 Verwertung

In die dritte Phase des Lebenszyklus fallen Zahlungsströme, die bei der Entsorgung bzw. Anschlussnutzung und dem Rückbau des Systems entstehen (Bünting 2009). Dies können sowohl Ein- als auch Auszahlungen sein.

Bezogen auf den Busverkehr sind hier der Liquidationserlös der Fahrzeuge, bzw. wenn

Tabelle 4.2: Wirtschaftliche Parameter

Wirtschaftliche Parameter	Symbol	Wert
Länge des Lebenszyklus	T	12 Jahre
Anschaffungsinvestitionen Standardbus	$a_{\text{Ansch,S}}$	230.000 €
Anschaffungsinvestitionen Minibus	$a_{\text{Ansch,M}}$	135.000 €
Rüstkosten Standardbus	$a_{\text{Rüst,S}}$	0 €
Rüstkosten Minibus	$a_{\text{Rüst,M,t}}$	2.000 €
Zuschuss je Standardbus	$a_{\text{Zusch,S}}$	39.400 €
Zuschuss je Minibus	$a_{\text{Zusch,M}}$	19.700 €
Infrastrukturinvestitionen (bei Quartiersbus)	a_{Infra}	100.000 €
Stundenentgelt Fahrpersonal	a_{F}	16,03 €/h
Faktor für Lohnnebenkosten	f_{Neben}	0,28
Jährliche Bruttoarbeitszeit	$t_{\text{AZ,brutto}}$	2.034,9 h/a
Jährliche Nettoarbeitszeit	$t_{\text{AZ,netto}}$	1.613,7 h/a
Stundenentgelt Personal Fahrtanmeldung	a_{Pt}	14,39 €/h
Dieselskosten in $t = 0$ (2016)	$a_{\text{Diesel,0}}$	1,069 €/l
Preissteigerungsfaktor Rohöl	$f_{\text{Rohöl}}$	0,021
Schmierstoffkosten	a_{Schmier}	0,107 €/l
Treibstoffverbrauch Standardbus	$q_{\text{Treib,S}}$	40 l/100 km
Treibstoffverbrauch Minibus	$q_{\text{Treib,M}}$	17 l/100 km
Monatsentgelt Werkstattpersonal	a_{W}	2.695,79 €
Kostensatz für tägliche Versorgung	a_{tgIV}	0,09 €/km
Jährlicher Zinssatz für Fremdkapital	p_{Fk}	0,0283
Verringerter Mehrwertsteuersatz	s_{VMw}	0,07
Versicherungskosten Standardbus	$a_{\text{Vers,S}}$	2.000 €/a
Versicherungskosten Minibus	$a_{\text{Vers,M}}$	1173,91 €/a
Restwertfaktor	f_{r}	0,06

keine weitere Nutzung möglich ist, die Entsorgungskosten zu berechnen. Im Folgenden wird vom ersten Fall ausgegangen, woraus sich ergibt, dass keine Auszahlung und eine Einzahlung in Höhe des Liquidationserlöses erzielt wird.

Liquidationserlös

Nach Ende der Nutzungszeit T können durch Veräußerung oder Verwertung der Fahrzeuge Liquidationserlöse erzielt werden. Schätzungen für den Restwert eines Fahrzeugs liegen zwischen fünf Prozent (Frank, Friedrich & Schlaich 2008), sechs Prozent (Leuthardt 2005; Pütz 2010) und sechs bis zehn Prozent (Friedrich, Schlaich & Schleupen 2007) des Anschaffungspreises. Aufgrund der häufigsten Nennung wird der Restwertfaktor $f_{\text{r}} = 0,06$ angenommen. Es wird davon ausgegangen, dass am Markt ein Liquidationserlös in Höhe des Restwerts erzielt werden kann. Hinzu kommen ggf. Erlöse aus dem Verkauf der Fahrzeugausstattung $e_{\text{Ausst},i}$. Der Liquidationserlös E_{L} berechnet

sich folgendermaßen:

$$E_L = f_r \cdot \sum_i (n_{Fz,i} \cdot a_{AnsCh,i}) + (n_{Fz,i} \cdot e_{Ausst,i}) \quad \forall i \in I \quad (4.2.34)$$

4.3 Leistungskennzahlen im ÖPNV

Über die wirtschaftlichen Größen hinaus werden einige Kennzahlen ermittelt, die der Beschreibung und Analyse der einzelnen Verkehrsangebote dienen.

Die jährliche Laufleistung L in Fahrzeug-Kilometern (Fz-km) bestimmt die von allen Bussen insgesamt zurückgelegte Strecke. Sie besteht aus der Laufleistung zur Beförderung l_{Bef} sowie den Einsatz- und Aussetzfahrten l_{Leer} , wie Formel 4.3.1 zeigt. Dafür bestimmt d_w die durchschnittliche Anzahl der Verkehrstage w je Jahr (s. Tabelle A.1 im Anhang). Es wird zwischen drei Verkehrstagen (VT) w unterschieden: Montag bis Freitag außer Feiertage (MF), Samstag außer Feiertage einschließlich 24. und 31. Dezember (Sa) sowie Sonn- und Feiertage (SF). Die Menge der Verkehrstage stellt W dar.

$$L = l_{Bef} + l_{Leer} = \sum_w d_w \cdot (l_{Bef,w} + l_{Leer,w}) \quad \forall w \in W \quad (4.3.1)$$

Die jährliche Laufleistung zur Beförderung $l_{Bef,w}$ (ebenfalls in Fz-km) ergibt sich für den Linienverkehr aus Fahrtenanzahl und jeweiliger Länge der Linienwege (s. die Fahrpläne in Abbildung A.1 bis A.3 im Anhang). Schwieriger zu bemessen ist die Strecke, die der Quartiersbus zurücklegt. Kirchhoff & Tsakarestos 2007 ermitteln die Laufleistung mit Hilfe der Einsatzdauer, der Durchschnittsgeschwindigkeit und dem Anteil der abgerufenen an allen angebotenen Fahrten. Die Einsatzdauer bzw. Betriebszeiten werden in Abschnitt 4.5.1 definiert, als Anhaltspunkt für die mittlere Geschwindigkeit dient aufgrund des identischen Bedienungsgebiets die Beförderungsgeschwindigkeit der ersetzten Linie aus Szenario 1. Anstelle der Nachfragequote, die für den fahrplanlosen Betrieb nicht definiert ist, wird auf die Fahrgastzahlen aus Szenario 1 zurückgegriffen. Zur Ermittlung der Laufleistung des Quartiersbusses $L_M = l_{Bef,M} + l_{Leer,M}$ wird die Laufleistung zur Beförderung $l_{Bef,M}$ basierend auf den Überlegungen in Abschnitt 3.1.2 folgendermaßen berechnet:

$$l_{Bef,M} = \sum_w (d_w \cdot \sum_{h=1}^{24} s_{Bef,u,h,w} \cdot m) \quad \forall u \in U, w \in W \quad (4.3.2)$$

Es ist zu beachten, dass auch Umsetzfahrten zwischen zwei Beförderungsaufträgen in die Laufleistung zur Beförderung $l_{Bef,M}$ in der alternativen Betriebsform eingehen.

Die jährliche Beförderungsleistung B in Personenkilometern (Pkm) ist als das Produkt aus der Anzahl der beförderten Personen x pro Jahr und der mittleren Reiseweite \bar{s}_R definiert:

$$B = x \cdot \bar{s}_R. \quad (4.3.3)$$

Da keine Erhebungen zur Reiseweite im Schorndorfer Busverkehr vorliegen, wird von einer mittleren Reiseweite $\bar{s}_R = 3,9$ km ausgegangen. Da alle innerstädtischen Linien teilweise als Ringlinien verkehren, orientiert sich der Wert an der Hälfte der durchschnittlichen Strecke einer Linienfahrt.

Die Kenngrößen Fahrplanwirkungsgrad und Dienstplanwirkungsgrad sind Maße für die Effektivität der Planung im ÖPNV. Der Fahrplanwirkungsgrad η_{Fp} in Formel 4.3.4 bemisst das Verhältnis aus Beförderungszeit zu Fahrplanmasse, welche Beförderungs-, Leerfahrt- und Wendezeit beinhaltet. Er gibt wieder, „in welchem Maße die eingesetzten Fahrzeuge produktive Betriebszeit erbringen“ (Friedrich 1994), dabei ist vor allem die Wendezeit maßgebend.

$$\eta_{Fp} = \frac{t_{Bef}}{t_{Bef} + t_{Leer} + t_{We}} \quad (4.3.4)$$

Der Dienstplanwirkungsgrad η_{Dp} in Formel 4.3.5 setzt die Fahrplanmasse in Relation zur Dienstplanmasse. Letztere besteht aus Beförderungs-, Leerfahrt-, Wende- und Rüstzeit sowie bezahlter Pausenzeit (Friedrich 1994).

$$\eta_{Dp} = \frac{t_{Bef} + t_{Leer} + t_{We}}{t_{Bef} + t_{Leer} + t_{We} + t_{Rüst} + t_{Pau}} \quad (4.3.5)$$

4.4 Szenario 1: Linienverkehr

Dieses Szenario bildet den Ist-Zustand des innerstädtischen Busverkehrs der Stadt Schorndorf als Referenzfall ab. Die Buslinien 242, 246 und 247 stellen das derzeitige öffentliche Verkehrsangebot innerhalb der Stadt Schorndorf dar. Der Beitrag der Regionallinien zum innerstädtischen Verkehr wird hier wie auch in den anderen Szenarien vernachlässigt, da entweder nur wenige Haltestellen betroffen sind oder nur wenige tägliche Abfahrten angeboten werden. Die Abbildungen A.1 bis A.3 im Anhang zeigen die Fahrpläne der drei Linien.

4.4.1 Verkehrsangebot in Szenario 1

Alle drei Linien beginnen am Bahnhof Schorndorf und verkehren teils als Ringlinien, so dass nicht alle Haltestellen in beiden Richtungen angefahren werden. Linie 242 bedient den Süden der Stadt, wichtige Einrichtungen entlang der Route sind das Schwimmbad, das Kreiskrankenhaus und ein Seniorenzentrum. Linie 246 bedient den Südosten der Stadt und bindet in mehreren Schleifenfahrten hauptsächlich Wohngebiete mit Ein- und Mehrfamilienhäusern an. Die Gebiete nördlich des Bahnhofs werden von Linie 247 bedient, auf dem Linienweg liegt ein Gewerbegebiet westlich des Bahnhofs, sehr dicht besiedelte Wohngebiete, eine Sportanlage an der Rems sowie industrielle Anlagen im Nordosten der Stadt. Der Verlauf der Linien ist in Abbildung 4.2 dargestellt.

Der Fahrplan orientiert sich konsequent an den Ankunfts- und Abfahrtszeiten der S-

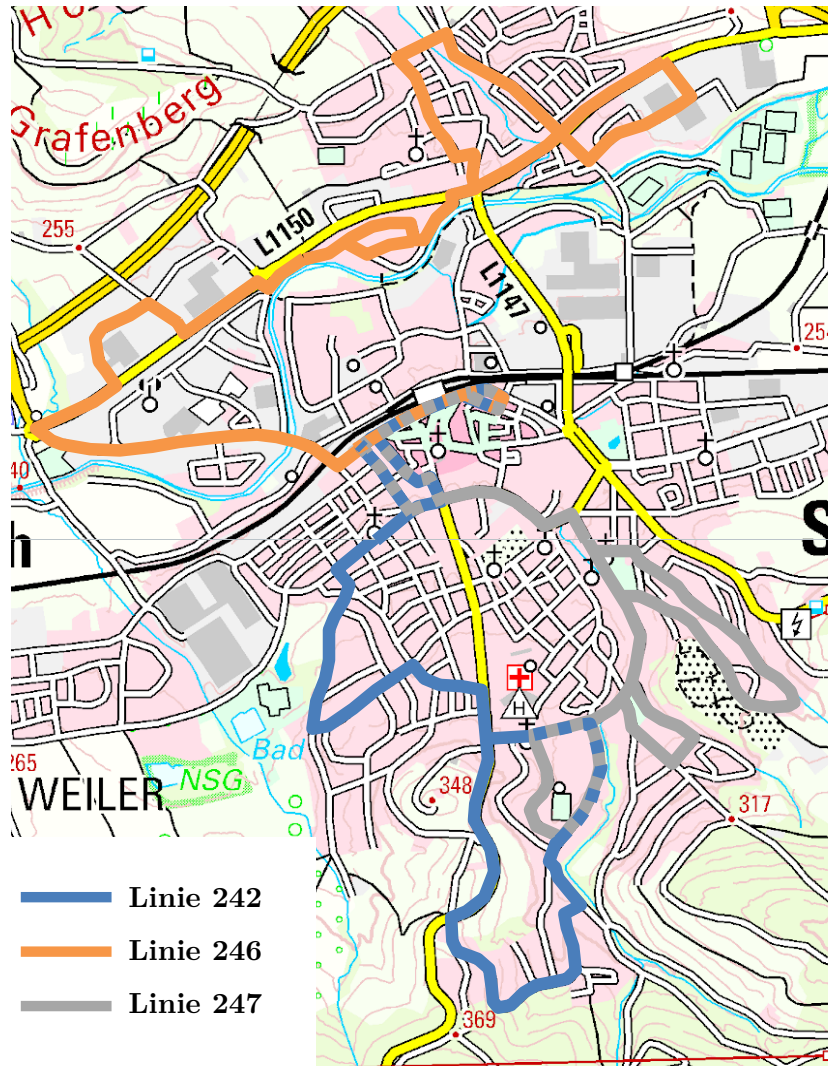


Abbildung 4.2: Linienverlauf in Szenario 1 (Eigene Darstellung, Kartenmaterial aus LGL BW o. J.)

und Regionalbahnen und ermöglicht Übergangszeiten von i.d.R. fünf bis neun Minuten (VVS 2016 b). Dies verdeutlicht die Relevanz von Fahrten mit Umstieg. Das Angebot bleibt während der Schulferien unverändert.

Für die Erbringung des Angebots werden maximal drei Fahrzeuge benötigt, es gilt $n_{Fz} = 3$, da für die Produktion jeder Linie maximal ein Fahrzeug erforderlich ist. In den Tagesrandzeiten und am Wochenende können die Fahrten zeitweise mit einem oder zwei Bussen abgedeckt werden. Es werden ausschließlich Standardbusse eingesetzt, es gilt $n_{Fz,S} = 3$ und $n_{Fz,M} = 0$.

Die jährliche Laufleistung beträgt in diesem Szenario $L = 221.695$ Fz-km/a, da nur Standardbusse eingesetzt werden, ist gleichzeitig $L_S = 221.695$ Fz-km/a. Die Laufleistung zur Beförderung beträgt $l_{Bef} = 214.977$ Fz-km/a, welche in einer planmäßigen Beförderungszeit von $t_{Bef} = 9.053$ h/a erbracht wird. Somit ergibt sich eine durchschnittliche Beförderungsgeschwindigkeit $v_{Bef} = 23,7$ km/h.

Tabelle 4.3: Leistungsparameter in Szenario 1

Leistungsparameter	Symbol	Wert
Anzahl der Fahrzeuge	n_{Fz}	3
Anzahl der Standardbusse	$n_{Fz,S}$	3
Anzahl der Minibusse	$n_{Fz,M}$	0
Jahreslaufleistung aller Fahrzeuge	L	221.695 Fz-km/a
Jahreslaufleistung Fahrzeugtyp S	L_S	221.695 Fz-km/a
Jahreslaufleistung Fahrzeugtyp M	L_M	0 Fz-km/a
Jährliche Laufleistung zur Beförderung	l_{Bef}	214.977 Fz-km/a
Jährliche planmäßige Beförderungszeit	t_{Bef}	9.053 h/a
Beförderungsgeschwindigkeit	v_{Bef}	23,7 km/h
Jährliche Arbeitszeit im Fahrdienst	t_{AZ}	13.228 h/a
Arbeitszeit im Fahrdienst am VT MF	$t_{AZ,MF}$	42,6 h/d
Arbeitszeit im Fahrdienst am VT Sa	$t_{AZ,Sa}$	31,5 h/d
Arbeitszeit im Fahrdienst am VT SF	$t_{AZ,SF}$	14,9 h/d
Anzahl der Fahrer/innen	n_F	8,2

Die Arbeitszeit der einzelnen Dienste in Tabelle A.3 im Anhang berechnet sich nach Formel 4.2.6 und beträgt $t_{AZ} = 13.228$ h/a. Dafür werden nach Formel 4.2.8 $n_F = 8,2$ Fahrerinnen und Fahrer benötigt. Unter der Annahme, dass es Arbeitskräfte in Teilzeit und Mischarbeitsplätze gibt oder das Busunternehmen weitere Linien betreibt, kann auf eine Rundung auf ganze Arbeitsplätze verzichtet werden.

4.4.2 Verkehrsnachfrage in Szenario 1

Eine Zählung der Fahrgäste je Linienfahrt an einem Normalwerktag im Januar 2016 ergab, dass für alle drei Linien jeweils die Spitzenstunde zwischen 6:30 und 8:00 Uhr maßgebend ist (Gebhardt, Sippel & Ulmer 2016). Besonders ausgeprägt ist die morgendliche Spitze für Linie 242 mit bis zu 106 Fahrgästen je Fahrt. Die Linien 242 und 247, welche das südliche Stadtgebiet bedienen, weisen zwischen 12:30 und 15:30 Uhr (242) bzw. zwischen 12:00 und 14:00 Uhr (247) erneut eine hohe Fahrgastanzahl von bis zu 45 bzw. 30 Personen je Fahrt auf. Linie 246 im Norden der Stadt ist hingegen mit Ausnahme der Frühschpitze mit maximal neun Fahrgästen sehr wenig ausgelastet (Gebhardt, Sippel & Ulmer 2016). Die Tagesganglinien in Abbildung 4.3 zeigen den Verlauf der Fahrzeugbesetzung an einem normalen Wochentag. Die Rohdaten der Zählung liegen nicht vor, wurde jedoch mit Hilfe der Tagesganglinien angenähert und sind in Tabelle A.8 im Anhang angegeben. 1.109 Fahrgäste werden an einem Verkehrstag MF insgesamt befördert, davon $x_{242} = 759$ Personen in Linie 242, $x_{246} = 114$ in Linie 246 und $x_{247} = 236$ in Linie 247. Für die Verkehrstage Sa und SF liegen keine Daten zu Nutzerzahlen vor, weshalb diese geschätzt werden. Als Anhaltspunkt für die Schätzung dient für jede Linie l und jedes Stundenintervall h das Verhältnis der Laufleistung am Verkehrstag Sa bzw. SF zur Laufleistung an einem Vollverkehrstag MF. So legt Linie 242 bspw. sams-

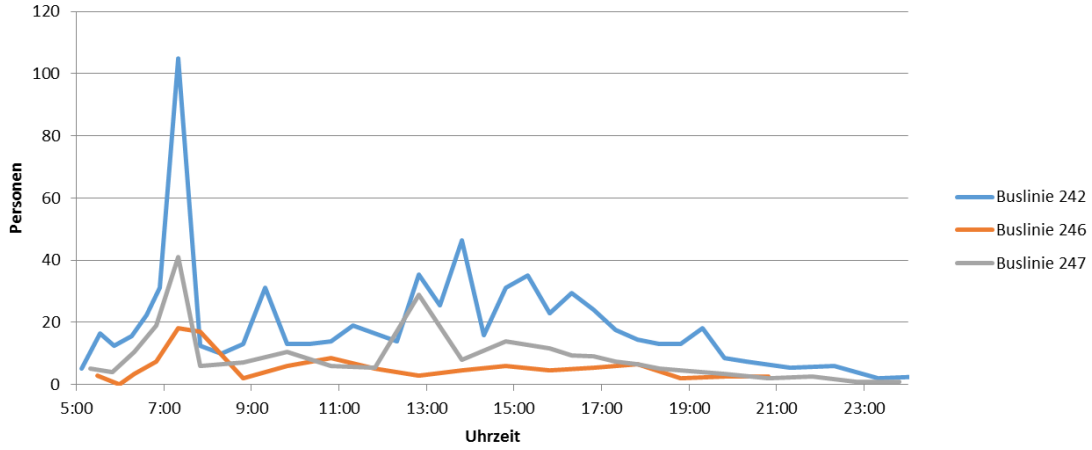


Abbildung 4.3: Tagesganglinien des Fahrgastaufkommens (Gebhardt, Sippel & Ulmer 2016)

tags zwischen 5:00 Uhr und 6:00 Uhr nur 8,4 Fz-km/h statt wochentags 24,0 Fz-km/h zur Beförderung von Fahrgästen zurück, es gilt $b_{\text{Sa}, 242, 5} = 0,35$. Entsprechend sinkt die Zahl der Fahrgäste von $x_{\text{MF}, 242, 5} = 36$ auf $x_{\text{Sa}, 242, 5} = 13$. Grundlage dieser Annahme ist, dass für jede Linie die durch die Fahrplanung festgelegte Laufleistung zur Beförderung der geringeren Nachfrage am Wochenende Rechnung trägt. Die Berechnung der Fahrgastzahlen jeder Stunde erfolgt mit Hilfe von Formel 4.4.1:

$$x_{w,l,h} = b_{w,l,h} \cdot x_{\text{MF},l,h} \quad \forall w \in \{\text{Sa}, \text{SF}\}, l \in \{242, 246, 247\}, \quad (4.4.1)$$

$$h \in \{5, \dots, 24\}$$

Für die Berechnung der Ausgleichszahlungen ist insbesondere die Anzahl der Schülerinnen und Schüler mit Zeitfahrkarte für den Ausbildungsverkehr x_{Ausb} relevant. Diese bestimmt sich für dieses und die folgenden Szenarien aus den Fahrgästen der Frühschpitze, jenen Fahrten, die zwischen 7:01 und 8:00 Uhr enden (s. Tabelle A.8 im Anhang). Somit sind jeweils $x_{\text{Ausb}} = 234$ Fahrgäste im Ausbildungsverkehr zu verzeichnen.

4.4.3 Ein- und Auszahlungen in Szenario 1

Die Berechnung der Ein- und Auszahlungen der einzelnen Phasen bzw. Jahre erfolgt unter der Annahme, dass das Angebot wie in Abschnitt 4.4.1 beschrieben über die Nutzungsdauer im Umfang unverändert bleibt. Eine Übersicht über die Zahlungsströme aller Perioden gibt Tabelle A.9 im Anhang. Im Folgenden handelt es sich jeweils um diskontierte Werte.

Entstehung

In Phase $t = 0$ fallen in Szenario 1 Anschaffungsinvestitionen in Höhe von 690.000 € an. Da die Voraussetzungen der VwV-Fahrzeuge erfüllt sind, kann das Busunterneh-

Tabelle 4.4: Barwerte der Ein- und Auszahlungen in Szenario 1

Barwerte der Nutzungsphase	Wert
Fahrdienstpersonal	3.105.561 €
Antrieb	927.841 €
Instandhaltung	189.896 €
Reifen	321.359 €
Tägliche Versorgung der Fahrzeuge	208.432 €
Overhead	1.006.007 €
Tilgung und Zinsen	610.668 €
Versicherung	64.637 €
Steuern	325.713 €
Summe Auszahlungen	7.450.114 €
Umsatzerlöse Fahrkarten	5.444.065 €
Ausgleichszahlungen (SGB IX)	152.434 €
Ausgleichszahlungen (PBefG)	669.756 €
Summe Einzahlungen	6.990.074 €

men 118.200 € aus Zuschüssen begleichen. Für die Zahlung der verbliebenen 571.800 € nimmt es Fremdkapital in gleicher Höhe auf. Rüstkosten fallen nicht an, da ausschließlich Standardbusse im Einsatz sind, ebenfalls kann von Infrastrukturinvestitionen abgesehen werden, da das Verkehrsangebot in dieser Form bereits besteht. Somit gleichen sich Ein- und Auszahlungen dieser Phase aus.

Nutzung

Die Auszahlungen der Nutzungsphase in Höhe von 7.450.114 € werden insbesondere durch die Personalkosten im Fahrdienst geprägt, diese machen mit 3.105.561 € einen Anteil von 45,9 % an den Auszahlungen aus. Die Overheadkosten in Höhe von 1.006.007 € stellen einen Anteil von 14,9 % dar, gefolgt von den Antriebskosten in Höhe von 927.841 €. Mit 9,0 % aller Nutzungskosten haben auch Kredittilgung und Zinsen einen großen Einfluss auf die Auszahlungen. Personalkosten für Fahrtanmeldungen sowie Kosten für die Fahrzeugausstattung fallen in diesem Szenario nicht an.

Demgegenüber stehen Einzahlungen in Höhe von 6.990.074 €, welche zu 86,9 % durch Umsatzerlöse aus dem Fahrkartenverkauf erzielt werden. Die Ausgleichszahlungen für ermäßigte oder entgeltlose Beförderung betragen insgesamt 822.190 €. Die Zahlungsströme sind in Tabelle 4.4 zusammengefasst.

Verwertung

Nach Ende der Nutzungsdauer fallen lediglich Erlöse aus Verkauf oder Verwertung der Fahrzeuge und ihrer Ausrüstung an. Hier kann ein Barwert in Höhe von 33.818 € für die Veräußerung der drei Standardbusse erzielt werden.

4.4.4 Wirtschaftliches Ergebnis in Szenario 1

Nach Diskontierung auf den Betrachtungszeitpunkt $t = 0$ entsteht ein Kapitalwert in Höhe von $C_0 = -460.041$ €. Der Deckungsbeitrag beträgt 93,8 %. Bezogen auf die Laufleistung zur Beförderung ergibt sich ein Fehlbetrag von 0,18 €/Fz-km, in Relation zur Beförderungsleistung beträgt der Fehlbetrag 0,03 €/Pkm.

4.5 Szenario 2: Linienverkehr mit ergänzendem Quartiersbus

Kagermeier 2004 nennt die Substitution von schwach nachgefragten Linien als Voraussetzung für Einsparpotenziale. Deshalb wird der heutige konventionelle Linienverkehr in diesem Szenario teilweise ersetzt und ergänzt durch den Quartiersbus. Weiterhin bildet der Linienverkehr das Rückgrat des innerstädtischen Verkehrsangebots, die aufgrund seiner Neuartigkeit mit Unsicherheiten behaftete Quartiersbus bedient anstelle von Linie 246 den Norden der Stadt. In der Schwachverkehrszeit (SVZ) übernimmt der Quartiersbus jedoch den gesamten innerstädtischen Busverkehr.

4.5.1 Verkehrsangebot in Szenario 2

Der Linienverkehr wird für das Stadtgebiet südlich der Innenstadt mit den Linien 242 und 247 tagsüber aufrecht erhalten. Linie 246 wird aufgrund ihrer geringen Auslastung (siehe Abbildung 4.3) vollständig durch einen Quartiersbus ersetzt. Das Bedienungsgebiet des Quartiersbusses $u = N$ umfasst, wie in Abbildung 4.4 visualisiert, die bebauten Flächen nördlich der Bahngleise sowie die zentrale Bushaltestelle am Bahnhof. Aufgrund der hohen Dichte von Zielen (Einkaufen, Stadtverwaltung, Agentur für Arbeit, Künkelin-Halle) wird das unmittelbar an den Bahnhof angrenzende Zentrum ebenfalls bedient. Innerhalb des Bedienungsgebiets beginnende Relationen, die ein Ziel außerhalb des Gebiets haben (oder umgekehrt), sind weiterhin nur mit Umstieg in eine der verbleibenden Linien möglich. Aufgrund der Größe des Bedienungsgebiets N wird eine mittlere Strecke von $s_N = 3,0$ km für den ersten Fahrauftrag angenommen. Angelehnt an die Beförderungsgeschwindigkeit der Linie 246 in Szenario 1 von 28,4 km/h gilt $s_{\max,N} = 28,4$ km. Die Zeiten, in denen der Quartiersbus ausschließlich im Norden der Stadt angefordert werden kann, reichen montags bis freitags von 5:30 Uhr bis 20:00 Uhr, samstags von 8:00 Uhr bis 20:00 Uhr. Die Zeiten orientieren sich jeweils an den ersten und letzten Fahrten des Ist-Zustands (Szenario 1). An Sonn- und Feiertagen gibt es im Norden der Stadt analog zu Szenario 1 kein Verkehrsangebot.

Abweichend vom Ist-Zustand in Szenario 1 wird das Fahrtenangebot der verbleibenden Linien abends eingeschränkt und durch den Quartiersbus übernommen. An den Verkehrstagen MF und Sa endet die letzte Fahrt der Linie 242 um 19:41 Uhr am Bahnhof Schorndorf. Gründe dafür sind die sprunghaft verringerte Nachfrage ab dieser Uhrzeit (s. Tabelle A.8 im Anhang), ggf. bedingt durch den Taktzeitwechsel der Regionalbahn R2 aus Stuttgart, welcher ab 20:00 Uhr einen Umstieg mit akzeptabler Übergangszeit

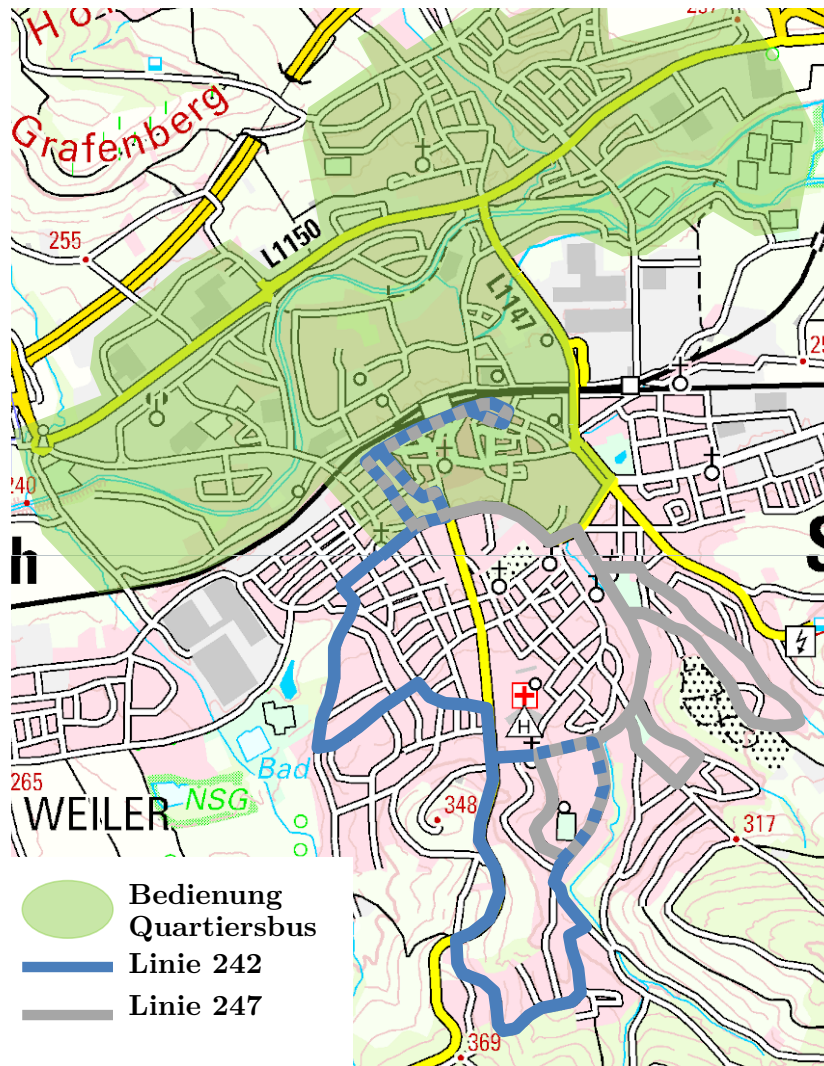


Abbildung 4.4: Bedienungsgebiet und Linienverlauf in Szenario 2 (Eigene Darstellung, Kartenmaterial aus LGL BW o. J.)

verhindert, sowie der um 19 % höhere Nettolohn ab 20:00 Uhr aufgrund des Nachtzuschlags (s. Tabelle 4.1). Für Linie 247 soll die Betriebszeit montags bis samstags mit der um 20:11 Uhr am Bahnhof eintreffenden Fahrt enden. Dies stellt für Linie 247 in Szenario 1 den Zeitpunkt des Taktzeitwechsels von 30 auf 60 Minuten dar. So fallen hier vor allem die Betriebszeiten weg, die durch einen hohen Anteil an Bereitschaftszeit vergleichsweise hohe Personalkosten verursachen. Ab 20:00 Uhr erweitert sich das Bedienungsgebiet des Quartiersbusses auf das südliche Stadtgebiet. Für diese Zeit erhöht sich die mittlere Strecke für den ersten Fahrauftrag aufgrund des deutlich größeren Bedienungsgebiets $u = G$ auf $s_G = 4,5$ km. Der Quartiersbus kann in dieser Zeit höchstens $s_{\max,G} = 23,7$ km je Stunde zurücklegen. Dieser Wert richtet sich nach der Beförderungsgeschwindigkeit der ersetzten Linien. Die Betriebszeiten des Quartiersbus im Gebiet $u = G$ enden wochentags um 0:30 Uhr, samstags um 1:00 Uhr. Am Verkehrstag

Tabelle 4.5: Leistungsparameter in Szenario 2

Leistungsparameter	Symbol	Wert
Anzahl der Fahrzeuge	n_{Fz}	3
Anzahl der Standardbusse	$n_{Fz,S}$	2
Anzahl der Minibusse	$n_{Fz,M}$	1
Jahreslaufleistung aller Fahrzeuge	L	222.898 Fz-km/a
Jahreslaufleistung Fahrzeugtyp S	L_S	133.471 Fz-km/a
Jahreslaufleistung Fahrzeugtyp M	L_M	89.426 Fz-km/a
Jährliche Laufleistung zur Beförderung	l_{Bef}	215.253 Fz-km/a
Jährliche planmäßige Beförderungszeit	t_{Bef}	8.984 h/a
Beförderungsgeschwindigkeit	v_{Bef}	23,9 km/h
Jährliche Arbeitszeit im Fahrdienst	t_{AZ}	13.157 h/a
Arbeitszeit im Fahrdienst am VT MF	$t_{AZ,MF}$	42,1 h/d
Arbeitszeit im Fahrdienst am VT Sa	$t_{AZ,Sa}$	32,1 h/d
Arbeitszeit im Fahrdienst am VT SF	$t_{AZ,SF}$	15,2 h/d
Anzahl der Fahrer/innen	n_F	8,2

SF endet das Linienangebot um 17:41 Uhr (242) bzw. 17:11 Uhr (247), zwischen 18:00 und 0:30 Uhr wird es durch die alternative Bedienung im südlichen Stadtgebiet ($u = S$) ersetzt. Es gilt $s_S = 4$ km und $s_{\max,G} = 22,4$ km. Eine Übersicht der Betriebs- und Taktzeiten der einzelnen Verkehrstagen liefert Tabelle A.2 im Anhang. Im Flächenbetrieb ermittelt sich die Anzahl der benötigten Fahrzeuge nachfrageabhängig „mit Hilfe einer Simulation des Betriebsablaufs“ (Busch, Diesch & Kirchhoff 2004). Da eine Simulation im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt wird, richtet sich Fahrzeugtyp und -anzahl nach der Nachfrage in Szenario 1. Da das Fahrgastaufkommen für Linie 246 maximal 18 Fahrgäste je Linienfahrt beträgt (s. Tabelle A.8 im Anhang), kann der Standardbus in der alternativen Betriebsform durch einen Minibus mit zehn Sitz- und zwölf Stehplätzen ersetzt werden. Unverändert werden die verbliebenen Linien 242 und 247 mit je einem Standardbus betrieben, es gilt $n_{Fz,S} = 2$ und $n_{Fz,M} = 1$.

Die Laufleistung des Linienverkehrs beläuft sich auf $L_S = 133.471$ Fz-km/a. Der Quartiersbus weist nach dem Modell in Abschnitt 3.1.2 eine Laufleistung zur Beförderung von $l_{Bef,M} = 86.724$ Fz-km/a auf. Hinzu kommen die Fahrten vom bzw. zum Betriebs-hof mit $l_{Leer,M} = 2.703$ Fz-km/a, sodass sich eine Laufleistung von $L_M = 89.427$ km/a ergibt. Die Laufleistung des gesamten innerstädtischen Angebots summiert sich auf $L = 222.898$ Fz-km/a.

Die Beförderungszeit im Linienverkehr beträgt $t_{Bef,S} = 5.717$ h/a. Mit Hilfe der angenommenen Geschwindigkeit kann aus der Laufleistung zur Beförderung des Quartiersbusses seine Beförderungszeit berechnet werden, diese beträgt $t_{Bef,M} = 3.267$ h/a. Die Beförderungszeit des Gesamtangebots summiert sich auf $t_{Bef} = 8.984$ h/a. Die Arbeitszeiteile werden in Tabelle A.4 im Anhang zu einem Dienstplan zusammengefügt. Jährlich sind $t_{AZ} = 13.157$ h/a zu leisten, wofür 8,2 Fahrerinnen und Fahrer erforderlich sind.

Eine Übersicht über die in diesem Abschnitt ermittelten Werte gibt Tabelle 4.5.

4.5.2 Verkehrsnachfrage in Szenario 2

Wie viele Fahrgäste die zunächst ungewohnte Form des fahrplanlosen Nahverkehrs in Zukunft nutzen werden, ist von vielen Faktoren abhängig und mit vielen Unsicherheiten verbunden. Ob das Angebot verständlich ist und „Nutzungsbarrieren“ (Müller-Hellmann & Nickel 2009) abgebaut werden können, hängt einerseits stark von der Kommunikation des Betreibers im Vorfeld und während der Anfangszeit des Angebots ab. Andererseits werden die ersten Nutzererfahrungen bezüglich der Funktionsweise und Zuverlässigkeit des neuen Angebots darüber entscheiden, wie es angenommen werden wird. Somit ist die Steuerung des Quartiersbusses insbesondere in den ersten Wochen und Monaten ausschlaggebend für dessen Erfolg. Ein Werkzeug zur Modellierung der Nachfrage alternativer Betriebsformen haben Lohse, Schiller & Teichert 2006 erarbeitet. Die dafür benötigte Datengrundlage fehlt für diesen Anwendungsfall jedoch.

Es wird zuerst davon ausgegangen, dass die Nachfrage derjenigen in Szenario 1 entspricht und somit die Änderung der Betriebsform keine Auswirkung auf die Anzahl der Fahrgäste hat. Am Verkehrstag MF befördern Linie 242 und 247 somit insgesamt 961 Fahrgäste und den Quartiersbus nutzen 148 Fahrgäste. Innerhalb eines Jahres werden 44.957 von insgesamt 341.054 Fahrgästen mit dem fahrplanlosen Verkehrssystem befördert, dies entspricht 13,2 Prozent. Aufgrund der Wichtigkeit der Nachfrage für die Wirtschaftlichkeitsanalyse wird die Anzahl der Fahrgäste im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse (s. Abschnitt 4.8) variiert und so ein differenzierteres Ergebnis erreicht.

4.5.3 Ein- und Auszahlungen in Szenario 2

Ein- und Auszahlungen dieses Szenarios werden erneut den drei Lebensphasen des Verkehrsangebots zugeordnet. Es handelt sich jeweils um die diskontierten Zahlungen. Tabelle A.10 im Anhang fasst die Zahlungsströme aller Perioden zusammen.

Entstehung

Die Anschaffungsinvestitionen für die drei Fahrzeuge betragen 595.000 €, davon können 98.500 € durch öffentliche Zuschüsse beglichen werden. Darüber hinaus fallen Investitionen für die alternative Betriebsform an, einerseits für die Ausstattung des Minibusses (2.000 €), andererseits die Lizenzgebühren für Buchungs-App und Dispositionssoftware (100.000 €). Es verbleibt ein Kapitalbedarf in Höhe von 598.500 €, sodass auf Fremdkapital in dieser Höhe zurückgegriffen wird. Die geringeren Anschaffungsinvestitionen für Fahrzeuge werden durch die Anfangsinvestitionen für Software mehr als ausgeglichen, sodass die Höhe des Fremdkapitals um 4,7 % im Vergleich zum ersten Szenario steigt.

Tabelle 4.6: Barwerte der Ein- und Auszahlungen in Szenario 2

Barwerte der Nutzungsphase	Wert
Fahrdienstpersonal	3.073.880 €
Personal Fahrtanmeldungen	59.455 €
Antrieb	717.669 €
Instandhaltung	185.173 €
Reifen	320.284 €
Fahrzeugausstattung	3.528 €
Tägliche Versorgung der Fahrzeuge	208.700 €
Overhead	995.283 €
Tilgung und Zinsen	639.183 €
Versicherung	55.738 €
Steuern	339.899 €
Summe Auszahlungen	7.295.792 €
Umsatzerlöse Fahrkarten	5.681.168
Ausgleichszahlungen (SGB IX)	159.073 €
Ausgleichszahlungen (PBefG)	616.895 €
Summe Einzahlungen	7.184.115 €

Nutzung

Im Vergleich zum ersten Szenario ist die Laufleistung hier annähernd identisch (Steigerung um 0,5 %), Die Laufleistung zur Beförderung steigt geringfügig um 0,1 %. Entsprechend sind bei den Zahlungsströmen, die von der Entfernung abhängig sind, ebenso geringfügige Verringerungen zu verzeichnen. Arbeitszeit und Personalkosten sinken hingegen leicht (um 0,5 bzw. 1,0 %), was für eine effizientere Dienstplanung spricht. Für die Antriebskosten ist ein Rückgang um 22,7 % bzw. 210.172 € zu verzeichnen. Hier macht sich der geringe Kraftstoffverbrauch des Minibusses bemerkbar. Ebenso sinken die Versicherungskosten aufgrund des kleineren Fahrzeugs. Auszahlungen, welche höher ausfallen als vorher sind einerseits Tilgung und Zinsen mit einem Zuwachs um 4,7 % bzw. 28.515 € aufgrund des höheren Bedarfs an Fremdkapital sowie andererseits Steuern, welche in Abhängigkeit von den Einnahmen um 4,4 % (13.915 €) steigen. Neu hinzu kommen Auszahlungen für Fahrzeugausstattung sowie Personal für Fahrtanmeldungen, welche zusammen 62.983 € ausmachen. In der Summe sinken die Auszahlungen um 154.321 € im Vergleich zum reinen Linienverkehr.

Gleichzeitig steigen die Umsatzerlöse aus dem Fahrkartenverkauf aufgrund des Komfortzuschlags für Fahrgäste des Quartiersbusses um 4,4 % auf 5.681.168 €, was in gleichem Maße eine Steigerung der Ausgleichszahlungen gemäß SGB IX nach sich zieht. Der Anspruch auf Ausgleichszahlungen im Ausbildungsverkehr verringert sich jedoch im Vergleich zu Szenario 1 um 7,9 % auf 616.895 €, da mit den Auszahlungen ebenso die Kosten im Ausbildungsverkehr sinken. Insgesamt sind die Einzahlungen um 2,7 % auf 7.184.115 € gestiegen. Tabelle 4.6 gibt die Barwerte der Nutzungsphase wieder.

Verwertung

Verkauf oder Verwertung eines Minibusses und zweier Standardbusse erzielen diskontierte Einzahlungen in Höhe von 28345 €. Des Weiteren wurde die Ausstattung des Minibusses zuletzt in $t = 10$ ersetzt, sodass deren Nutzungsdauer nur zwei statt der erwarteten Lebensdauer von fünf Jahren betrug. Ein Wiederverkaufswert in Höhe von 50 % der Investition ist hier realistisch, somit gilt $e_{\text{Ausst},M} = 1.000$ € je Minibus, d. h. nach Diskontierung gehen weitere 1.633 € in den Liquidationserlös ein. Der Barwert der letzten Phase des Lebenszyklus beträgt 29.979 €.

4.5.4 Wirtschaftliches Ergebnis in Szenario 2

Insgesamt ergibt sich in diesem Szenario ein Kapitalwert von $C_0 = -111.678$ €, damit wird eine Minderung des Fehlbetrages um mehr als drei Viertel im Vergleich zu Szenario 1 erreicht. Es wurde nicht nur eine Verringerung der Auszahlungen im Vergleich zu Szenario 1 erreicht, sondern gleichzeitig eine Steigerung der Einzahlungen. Die Auszahlungen des Lebenszyklus können zu 98,5 % durch Einzahlungen gedeckt werden. Je Fahrzeug-Kilometer zur Beförderung entsteht ein Fehlbetrag von 0,04 €, bezogen auf die Beförderungsleistung liegt der Fehlbetrag unter 0,01 €/Pkm.

4.6 Szenario 3: Quartiersbusse mit ergänzendem Linienverkehr

In diesem dritten Szenario soll der alternativen Betriebsform eine größere Bedeutung zukommen. Neben Linie 246 wird auch Linie 247 durch die Angebotsform Quartiersbus ersetzt. Linie 242 behält aufgrund der hohen Fahrgastzahlen in der HVZ und NVZ den Fahrplan wie in Szenarien 1 bei.

4.6.1 Verkehrsangebot in Szenario 3

Der Linienverkehr beschränkt sich in diesem Szenario auf die weiterhin bestehende Linie 242 im Südwesten der Stadt. Die letzte Linienfahrt endet von montags bis freitags um 19:41 Uhr. Im Norden und Südosten Schorndorfs ersetzen die Quartiersbusse den Linienverkehr, die Betriebszeiten reichen montags bis freitags von 5:30 Uhr bis 0:30 Uhr und an Samstagen von 8:00 Uhr bis 1:00 Uhr. Ihr Bedienungsgebiet $u = \text{NO}$ ist in Abbildung 4.5 grün markiert, eine Aufteilung des Gebiets zwischen den beiden Fahrzeugen findet nicht statt. Es gilt aufgrund der Größe des Bedienungsgebiets $s_{\text{NO}} = 4$ km, und angelehnt an die Geschwindigkeit der ersetzten Linien 246 und 247 $s_{\text{max,NO}} = 24,2$ km. Abends wird auch Linie 242 durch die alternative Betriebsform ersetzt: ab 20:00 Uhr kann im gesamten Stadtgebiet der Quartiersbus angefordert werden ($u = G$).

An Sonn- und Feiertagen verkehrt Linie 242 bis 17:41 Uhr analog zu Szenario 1, die Quartiersbusse bedienen zwischen 6:30 Uhr und 18:00 Uhr den vorher von Linie 247 erschlossenem südöstlichen Teil der Stadt ($u = \text{O}$), es gilt $s_{\text{O}} = 3$ km und

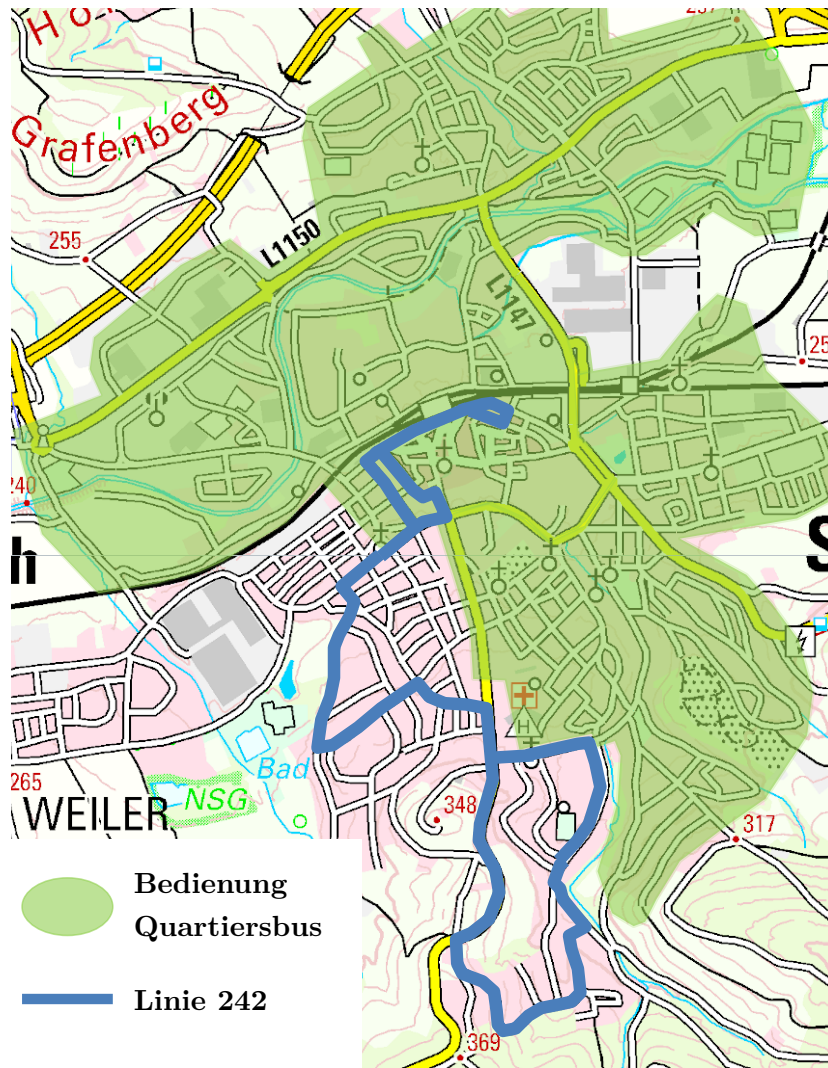


Abbildung 4.5: Bedienungsgebiet und Linienverlauf in Szenario 3 (Eigene Darstellung, Kartenmaterial aus LGL BW o. J.)

$s_{\max, O} = 21,3$ km. Zwischen 18:00 und 0:30 Uhr erweitert sich das Bedienungsgebiet des Quartiersbusses auf den Südwesten Schorndorfs, sodass nun das Stadtgebiet südlich des Bahnhofs ($u = S$) fahrplanlos bedient wird. Ab welcher Uhrzeit der Betrieb der Linie 242 in die alternative Betriebsform übergeht, richtet sich jeweils nach der Anzahl der Fahrgäste. Um ein gleichwertiges Angebot wie im Referenzfall Szenario 1 zu gewährleisten, gibt es an Sonn- und Feiertagen keinen Busverkehr nördlich des Bahnhofs. Tabelle A.2 im Anhang fasst die Betriebszeiten zusammen.

Für die Erbringung des Angebots sind ein Standardbus für Linie 242 sowie zwei Minibusse für die alternative Betriebsform notwendig, es gilt $n_{Fz, S} = 1$ und $n_{Fz, M} = 2$. Die Fahrgastanzahl, wie sie für Szenario 1 erhoben und zunächst in diesem Szenario unterstellt wird, überschreitet für zwei Fahrten die Fahrzeugkapazität von 22 Plätzen deutlich. Die Kapazität wird durch Nebenbedingungen in der Disposition berücksichtigt,

was dazu führen wird, dass die Fahrgäste unter Berücksichtigung der Voranmeldezeit auf mehrere Fahrten aufgeteilt werden.

Tabelle 4.7: Leistungsparameter in Szenario 3

Leistungsparameter	Symbol	Wert
Anzahl der Fahrzeuge	n_{Fz}	3
Anzahl der Standardbusse	$n_{Fz,S}$	1
Anzahl der Minibusse	$n_{Fz,M}$	2
Jahreslaufleistung aller Fahrzeuge	L	290.177 Fz-km/a
Jahreslaufleistung Fahrzeugtyp S	L_S	92.094 Fz-km/a
Jahreslaufleistung Fahrzeugtyp M	L_M	198.082 Fz-km/a
Jährliche Laufleistung zur Beförderung	l_{Bef}	285.532 Fz-km/a
Jährliche planmäßige Beförderungszeit	t_{Bef}	11.321 h/a
Beförderungsgeschwindigkeit	v_{Bef}	24,9 km/h
Jährliche Arbeitszeit im Fahrdienst	t_{AZ}	14.842 h/a
Arbeitszeit im Fahrdienst am VT MF	$t_{AZ,MF}$	45,4 h/d
Arbeitszeit im Fahrdienst am VT Sa	$t_{AZ,Sa}$	39,3 h/d
Arbeitszeit im Fahrdienst am VT SF	$t_{AZ,SF}$	22,7 h/d
Anzahl der Fahrer/innen	n_F	9,2

4.6.2 Verkehrsnachfrage in Szenario 3

Erneut wird unterstellt, dass die Nachfrage nach partieller Änderung des Verkehrsangebots gleich bleibt, Änderungen der Nachfrage simuliert Abschnitt 4.8. So beläuft sich die Anzahl der Fahrgäste, die am Verkehrstag MF in der alternativen Betriebsform befördert werden auf 51,5 Prozent aller Fahrgäste. Aufgrund ihres deutlich geringeren Anteils am Wochenende, stellen die jährlichen Fahrgäste im Quartiersbus nur ein Drittel aller Fahrgäste dar (112.863 von 341.001 jährlichen Fahrgästen). Kritisch anzumerken ist, dass am Verkehrstag MF zwischen 7:00 und 8:00 Uhr 83 Fahrgäste mit zwei Kleinbussen befördert werden. Nach Formel 3.1.7 ist dies mit einer Strecke von $s_{Bef,NO,7,MF}(2) = 23,7$ km bzw. einer Beförderungszeit von 59 Minuten je Fahrzeug möglich, die praktische Umsetzbarkeit aller Fahraufträge innerhalb einer Stunde ist jedoch in Frage zu stellen.

4.6.3 Ein- und Auszahlungen in Szenario 3

Die Auswirkungen des veränderten Verkehrsangebots auf die diskontierten Ein- und Auszahlungen der Lebenszyklusphasen werden im Folgenden dargestellt. Die Zahlungsströme sind in Tabelle A.11 im Anhang wiedergegeben.

Entstehung

Die Anschaffungsinvestitionen für einen Standardbus und zwei Minibusse belaufen sich auf 500.000 €, davon können 78.800 € durch Zuschüsse beglichen werden. Die erstma-

lige Ausrüstung der beiden Minibusse verursacht Auszahlungen in Höhe von 4.000 €, hinzu kommen Infrastrukturinvestitionen für die Dispositions- und Buchungssoftware. Da diese unabhängig von der Anzahl der flexibel verkehrenden Fahrzeuge sind, betragen diese wie im zweiten Szenario 100.000 €. Fremdkapital in Höhe von 525.200 € wird für Fahrzeuge und Infrastruktur benötigt. Somit ist der Bedarf kleiner als in den beiden anderen Szenarien, da der geringere Kapitalbedarf durch veränderte Fahrzeuggrößen die Infrastrukturinvestitionen mehr als ausgleicht.

Nutzung

Während die Laufleistung um 30,9 % höher ist als in Szenario 1, steigt die Arbeitszeit nur um 11,9 %. So steigen auch die Personalkosten im Fahrdienst um 11,9 % auf 3.473.217 €, hinzu kommen Personalkosten in Höhe von 149.552 € für die Entgegennahme telefonischer Fahrtanmeldungen. Die höhere Laufleistung wirkt sich auf die Instandhaltungs- und Reifenkosten sowie Kosten für die tägliche Versorgung aus, sie steigen jeweils um 13,4 % bis 28,3 %. Die Antriebskosten fallen mit 737.766 € trotz höherer Laufleistung um 20,5 % geringer aus als in Szenario 1, da die Minibusse im Vergleich zu Standardbussen weniger als die Hälfte an Treib- und Schmierstoffen je zurückgelegter Strecke verbrauchen. Kredittilgung und Zinsen betragen aufgrund des erwähnten geringeren Fremdkapitalbedarfs 9,1 % weniger als in Szenario 1. Die Auszahlungen der Nutzungsphase summieren sich zu 7.490.577 €.

Die Einzahlungen der Nutzungsphase steigen ausnahmslos, die Umsatzerlöse aus dem Fahrkartenverkauf sind mit 6.042.403 € um 11,0 % höher als in Szenario 1, ebenso die Ausgleichszahlungen für die entgeltlose Beförderung Schwerbehinderter. Die Ausgleichszahlungen für den Ausbildungsverkehr steigen um 12,8 % auf 755.376 €. Dies ist darin begründet, dass die entfernungsabhängigen Kosten stärker steigen als die Erlöse aus der Beförderung von Schülerinnen und Schülern. Die Auszahlungen der Nutzungsphase betragen insgesamt 6.966.966 €. Die Barwerte der Nutzungsphase fasst Tabelle 4.8 zusammen.

Verwertung

Der mit 6 % der Anschaffungsinvestitionen bezifferte Liquidationserlös der Fahrzeuge ergibt 24.506 €. Analog zu Szenario 2 wird von einem Weiterverkauf der Fahrzeugausstattung ausgegangen. In der Summe ergeben sich diskontierte Einzahlungen in Höhe von 26.140 € aus dieser Phase.

4.6.4 Wirtschaftliches Ergebnis in Szenario 3

Die diskontierten Auszahlungen des gesamten Lebenszyklus in Höhe von 8.094.577 € und Einzahlungen in Höhe von 7.597.106 € führen zu einem Kapitalwert von $C_0 = -497.471$ €. Herauszuheben ist, dass beide um 8,7 % im Vergleich zu Szenario 1 stei-

Tabelle 4.8: Barwerte der Ein- und Auszahlungen in Szenario 3

Barwerte der Nutzungsphase	Wert
Fahrdienstpersonal	3.473.217 €
Personal Fahrtanmeldungen	149.552 €
Antrieb	737.766 €
Instandhaltung	225.199 €
Reifen	412.445 €
Fahrzeugausstattung	7.056 €
Tägliche Versorgung der Fahrzeuge	273.931 €
Overhead	1.242.160 €
Tilgung und Zinsen	560.901 €
Versicherung	46.838 €
Steuern	361.511 €
Summe Auszahlungen	8.094.577 €
Umsatzerlöse Fahrkarten	6.042.403
Ausgleichszahlungen (SGB IX)	169.187 €
Ausgleichszahlungen (PBefG)	755.376 €
Summe Einzahlungen	7.597.106 €

gen. Mit einem Kostendeckungsgrad von 93,9 % ist dieser marginal höher als der des ersten Szenarios. Bezogen auf das Verkehrsangebot in diesem Szenario ergibt sich ein Fehlbetrag von 0,15 €/Fz-km bzw. 0,03 €/Pkm.

4.7 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Ergebnisse des LCC sollen im Folgenden in Bezug zueinander gesetzt werden. Die jeweiligen Kapitalwerte treffen zunächst eine eindeutige Aussage: bei Substitution der am schwächsten nachgefragten Linie 246 durch den Quartiersbus (Szenario 2) übersteigen die Auszahlungen weiterhin die Einzahlungen, die Diskrepanz wird jedoch stark verringert. Der Kapitalwert steigt um 75,8 Prozent im Vergleich zu Szenario 1 an. Wird zusätzlich die Linie 247 in die alternative Betriebsform überführt, wie in Szenario 3 geschehen, so sinkt der Kapitalwert um 7,9 Prozent im Vergleich zu Szenario 1. Tabelle 4.9 stellt die wichtigsten Ergebnisse vergleichend dar.

Aufgrund des hohen Anteils der Personalkosten im Fahrdienst an allen Auszahlungen (zwischen 45,9 und 46,6 Prozent in den einzelnen Szenarien), wird zuerst die Beförderungs- und Arbeitszeit genauer betrachtet.

Für Szenario 2 fällt auf, dass die Beförderungszeit bei geringfügig höherer Laufleistung im Vergleich zu Szenario 1 um 0,8 Prozent sinkt, die Arbeitszeit um 0,5 Prozent. Während wochentags bei Bedienung des Gebiet N, seine Beförderungszeit um wenige Minuten höher ist als die der ersetzten Linienfahrten, kann der Quartiersbus ab 20:00 Uhr bei Bedienung des gesamten Stadtgebiets 13,1 Prozent der Beförderungszeit einsparen. Hinzu kommt, dass die Personalkosten in dieser Zeit durch Nachtzuschläge

Tabelle 4.9: Ergebnisse der Szenarien im Vergleich

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Kapitalwert	-460.041 €	-111.678 €	-497.471 €
Laufleistung	221.695 Fz-km/a	222.898 Fz-km/a	290.177 Fz-km/a
Beförderungszeit	9.053 h/a	8.984 h/a	11.379 h/a
Arbeitszeit	13.228 h/a	13.157 h/a	14.803 h/a
Fahrplanwirkungsgrad	0,72	0,72	0,80
Dienstplanwirkungsgrad	0,97	0,96	0,97
Kostendeckungsgrad	93,8 %	98,5 %	93,9 %
Fehlbetrag (l_{Bef})	0,18 €/Fz-km	0,04 €/Fz-km	0,15 €/Fz-km
Fehlbetrag (B)	0,03 €/Fz-km	0,01 €/Fz-km	0,03 €/Fz-km
Fahrgäste Quartiersbus	0 %	13,2 %	33,2 %

höher sind als tagsüber, was die Verringerung der Personalkosten um 1,0 Prozent erklärt.

Für Szenario 3 hingegen steigt die Beförderungszeit um 25,7 Prozent, die Arbeitszeit im Fahrdienst um 11,9 Prozent gegenüber Szenario 1. Der Anstieg beider Werte ist darauf zurückzuführen, dass die Quartiersbusse aufgrund des stärker nachgefragten östlichen Bedienungsgebiets (ehemals Linie 247) eine längere Beförderungszeit aufwenden müssen als der Linienverkehr. Für die Betriebszeit, in der das Bedienungsgebiet NO durch den Quartiersbus erschlossen wird, wird die Beförderungszeit bereits ab sechs Fahrgästen je Stunde länger als die der ersetzten Linien. Es werden hier ohne Ausnahme mehr als sechs Fahrgäste je Stunde befördert. Beispielsweise beträgt die Beförderungszeit im alternativen Betriebssystem am Verkehrstag MF 25,8 Stunden, die der ersetzten Linienfahrten nur 18,3 Stunden. Andererseits ist der Fahrplanwirkungsgrad hier mit 0,80 deutlich höher als in Szenario 1 (0,72), d. h. insbesondere der Anteil der Wendezeit an der Fahrplanmasse sinkt. Daraus resultiert, dass die Arbeitszeit in geringerem Maß steigt als die Beförderungszeit. Der Dienstplanwirkungsgrad beträgt in den einzelnen Szenarien jeweils 0,96 oder 0,97. Da keine unbezahlten Pausen in den Diensten enthalten sind, zeigt der Wirkungsgrad, dass die Leerfahrten jeweils sehr kurz sind und kaum ist Gewicht fallen.

Weiterhin werden die Antriebskosten aufgrund ihres hohen Anteils an den Auszahlungen näher betrachtet. Aufgrund der annähernd gleichen Laufleistung in den ersten beiden Szenarien zeichnet der niedrige Kraftstoffverbrauch aufgrund des Minibusses für die um 22,7 Prozent geringeren Antriebskosten verantwortlich. Für Szenario 3 überlagern sich zwei Effekte. Einerseits verursacht der alternative Betrieb eine um 30,9 Prozent höhere Laufleistung zur Beförderung, andererseits werden davon zwei Drittel mit verbrauchsarmen Minibussen durchgeführt. Insgesamt wirkt sich das in der Form aus, dass die Antriebskosten zwar etwas höher sind als in Szenario 2, jedoch um 20,5 Prozent geringer als in Szenario 1.

Auf der Seite der Einzahlungen steigen sowohl für das zweite als auch das dritte Szenario

rio im Vergleich zum Referenzfall Umsatzerlöse aus dem Fahrkartenverkauf und damit ebenfalls Ausgleichszahlungen für die entgeltlose Beförderung mit der Fahrgastanzahl im alternativen Betrieb an. Die Ausgleichszahlungen für den Ausbildungsverkehr wirken sich insofern aus, als dass sie steigende Auszahlungen mildern bzw. sinkenden Auszahlungen entgegenwirken.

Bei Betrachtung des Fehlbetrags (gemessen an der Laufleistung zur Beförderung) fällt auf, dass dieser für Szenario 3 mit 0,15 €/Fz-km geringer ausfällt als in Szenario 1 (0,18 €/Fz-km). Der einzelne Kilometer ist demnach in Szenario 3 günstiger, der wesentliche Unterschied ist jedoch, dass je Fahrgast eine höhere Strecke zur Beförderung einschließlich Umsetzfahrten im alternativen Betrieb anfällt.

Dass eine Verringerung der Laufleistung und Beförderungszeit sich bei gleicher Fahrgastanzahl in kleineren Fahrzeugen positiv auf das Ergebnis auswirken, liegt auf der Hand. So ist die Vorteilhaftigkeit des zweiten gegenüber dem ersten Szenario bei annähernd gleicher Laufleistung und Beförderungszeit aufgrund des in Anschaffung und Betrieb sparsamen Minibusses nicht verwunderlich. Das Modell aus Abschnitt 3.1.2 gibt einen Anhaltspunkt, ab welcher Fahrgastanzahl der alternative Betrieb eine höhere Laufleistung zur Beförderung erfordert als der Linienverkehr. Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass darüber hinaus auch andere Größen Einfluss auf die Zahlungsströme nehmen. So ist insbesondere eine effiziente Dienstplanung von Relevanz. Beispielsweise sind in Szenario 1 an Sonn- und Feiertagen zwei Dienste notwendig, da die Fahrten der Linien 242 und 247 in einem kombinierten Umlauf gefahren werden. In Szenario 3 sind für ein gleichwertiges Verkehrsangebot drei Dienste erforderlich, von denen einer einen sehr hohen Anteil Bereitschaftszeit enthält. Deswegen erscheint die detaillierte Dienstplanung anstelle einer Schätzung der Arbeitszeit anhand der Beförderungszeit unabdingbar, denn Arbeits- und Beförderungszeit verzeichneten in dieser Analyse teilweise eine unterschiedliche Entwicklung.

Kritisch zu bemerken ist, dass sich das Modell aus Abschnitt 3.1.2, welches der Ermittlung der Laufleistung zugrunde liegt, für sehr hohe Fahrgastzahlen als ungeeignet herausstellt. Um dem entgegenzuwirken, wird empfohlen in der praktischen Erprobung empirische Daten hinsichtlich der Anzahl der maximal innerhalb eines Zeitintervalls durchführbaren Fahraufträge zu sammeln. Falls die maximale Anzahl an möglichen Fahrten je Zeitintervall regelmäßig dazu führt, dass Fahrtanmeldungen abgelehnt werden müssen, so ist für diese Zeiten eine Änderung des Verkehrsangebots zu überprüfen. Eine weitere Möglichkeit einer Nachfragespitze zu begegnen, ist es, die Flexibilität des Quartiersbusses für diese Zeiten einzuschränken und beispielsweise die Bedienung auf Hauptverkehrsstraßen zu begrenzen oder sogar einige wenige Linienfahrten pro Tag vorzugeben. Wichtig ist jedoch, dass dadurch kein zusätzliches Fahrzeug benötigt wird, da bei einer Erhöhung der Fahrzeuganzahl keine Einsparungen im Vergleich zum heutigen Linienverkehr zu erwarten sind.

4.8 Sensitivitätsanalyse

Eine Änderung des Verkehrsangebots, insbesondere wenn damit eine Preiserhöhung verbunden ist, wird eine Änderung der Fahrgastzahlen nach sich ziehen. Kocks et al. 2005 prognostizieren einen Verlust von fünf bis zehn Prozent der bisherigen Fahrgäste bei Umstellung auf eine alternative Betriebsform. Sie beziehen sich dabei jedoch auf Rufbusse. Sofern die Flexibilität und Individualisierung durch den Quartiersbus, insbesondere durch Tür-zu-Tür-Verkehre, von den Fahrgästen als eine Verbesserung des Angebots wahrgenommen wird, scheint ebenso eine Erhöhung der Nachfrage plausibel. Im Folgenden soll deshalb die Fahrgastanzahl des alternativen Betriebs im zweiten und dritten Szenario unter sonst konstanten Bedingungen variiert werden.

4.8.1 Erhöhung der Nachfrage in Szenario 2

Für Szenario 2 ergibt sich trotz negativen Kapitalwerts eine deutliche Einsparung im Vergleich zum derzeitigen Linienverkehr, weshalb die relative Vorteilhaftigkeit des alternativen Betriebs außer Frage steht. Darüber hinaus soll analysiert werden, wie groß der jährliche Fahrgastzuwachs sein muss, um ein neutrales Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsanalyse zu erhalten. Eine Simulation der Nachfrage ergibt, dass bei unveränderter Fahrgastanzahl im Linienverkehr die Anzahl der Kunden des Quartiersbusses um 39,2 Prozent wachsen muss. Bezogen auf alle Fahrgäste bedeuten diese 17.639 zusätzlichen Kunden des Quartiersbusses eine Nachfragesteigerung in Höhe von 5,2 Prozent. Dies geht mit einer Erhöhung der Laufleistung des Quartiersbusses um 15.765 Kilometer pro Jahr bzw. um 17,6 Prozent einher. Dass die prozentuale Steigerung der Laufleistung des Quartiersbusses deutlich geringer ausfällt als die der Kunden liegt in der Modelleigenschaft begründet, dass die Fahrzeit des Quartiersbusses nicht linear mit der Fahrgastanzahl steigt. Gleiches gilt für Beförderungszeit im alternativen Betrieb, welche um 18,2 Prozent steigt. Bezogen auf das Gesamtangebot steigen die Kosten für das Fahrpersonal nur um 2,2 Prozent, weil die zusätzliche Beförderungszeit nicht die Länge der Dienstschrift beeinflusst, sondern stattdessen (zu 50 Prozent bezahlte) Bereitschaftszeit entfällt.

Es ist jedoch zu beachten, dass sich Nachfragesteigerungen durch längere Umwege qualitätsmindernd für die Bestandskunden auswirken können.

4.8.2 Erhöhung der Nachfrage in Szenario 3

Für das dritte Szenario soll die erforderliche Nachfragesteigerung bestimmt werden, bei der sein Kapitalwert dem des Linienverkehrs in Szenario 1 entspricht und somit der Zuschussbedarf im Vergleich zum derzeitigen Angebot identisch ist.

Die Simulation der Nachfrage zeigt, dass dafür ein Zuwachs von 3,0 Prozent der Fahrgäste des Quartiersbusses erforderlich ist. Da die Nutzerzahlen des Linienverkehrs unverändert bleiben, beträgt die Steigerung der Gesamtnachfrage 1,0 Prozent bzw. 3.411 Fahr-

gäste pro Jahr. Die Steigerung der Laufleistung des Quartiersbusses um 0,7 Prozent bzw. 1.391 Fahrzeug-Kilometer pro Jahr verdeutlicht, dass aufgrund der Eigenschaften des Modells die Laufleistung weniger stark ansteigt als die Nachfrage. Die höhere Laufleistung geht mit einer Steigerung der entfernungsabhängigen Auszahlungen einher. Die Ausgleichszahlungen für den Ausbildungsverkehr sinken um 1,3 Prozent. Dies kann jedoch durch Ausgleichszahlungen nach SGB IX sowie höhere Einzahlungen aus dem Verkauf von Fahrkarten mehr als kompensiert werden. Aufgrund des Komfortzuschlags erhöhen sich die Umsatzerlöse aus dem Fahrkartenverkauf mit 1,3 Prozent stärker als die Nachfrage. Insgesamt stehen einer Steigerung der Auszahlungen um 0,3 Prozent ein Zuwachs der Einzahlungen um 0,9 Prozent gegenüber, sodass die Differenz der Kapitalwerte aus den Szenarien 1 und 3 von 39.328 Euro gerade geschlossen werden kann. Können mehr als 3.552 Fahrgäste pro Jahr neu hinzugewonnen werden, so ist Szenario 3 gegenüber Szenario 1 als vorteilhaft zu bewerten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden alternativen Betriebsformen anhand ihrer Eigenschaften klassifiziert und gegen die konventionelle Betriebsform abgegrenzt. Die dem Flächenbetrieb zuzuordnende Angebotsform Quartiersbus, die hier als Fallbeispiel dient, verfügt über einen sehr hohen Flexibilisierungsgrad. Weder Haltestellen noch Linienweg sind vorgegeben, das Angebot wird allein durch Fahrtanmeldungen der Fahrgäste bestimmt. Das Modell zur Ermittlung der Strecke, welche der Quartiersbus während seiner Betriebszeit zurücklegt, unterstellt, dass die durch einen zusätzlichen Fahrgast erforderliche Strecke mit der Fahrgastanzahl je Zeitintervall abnimmt. Die Stadt Schorndorf mit ihren demographischen und verkehrlichen Gegebenheiten stellt keinen typischen Anwendungsfall für alternative Betriebsformen dar, diese werden häufig zur Funktion der Daseinsvorsorge in ländlichen Regionen angeboten (Böhler et al. 2009 b). Dennoch sind die Voraussetzungen für die Erprobung der neuen Angebotsform in Schorndorf günstig, da die wichtige Zielgruppe der mindestens 65-Jährigen in den nächsten Jahren wachsen wird. Für Jugendliche, die ebenfalls eine wichtige Nutzergruppe darstellen, bietet der Quartiersbus durch die Buchungs-App sowie seine hohe Individualisierung das Potenzial mindestens genauso häufig genutzt zu werden wie der aktuelle Linienverkehr.

Nachdem die für den ÖPNV mit Bussen relevanten Ein- und Auszahlungen erläutert wurden, konnten drei Szenarien anhand ihrer Wirtschaftlichkeit sowie Kennzahlen des Angebots verglichen werden. Dabei stellte sich heraus, dass Szenario 2 einen deutlich verbesserten Kapitalwert im Vergleich zum ersten Szenario erreicht. Die Investitionsentscheidung erreicht zwar keine absolute Vorteilhaftigkeit, im Vergleich zu Szenario 1 sinkt der Zuschussbedarf jedoch um 75,7 Prozent. Zusammenfassend kann dies darauf zurückgeführt werden, dass bei annähernd gleicher Laufleistung und Beförderungszeit zusätzliche Umsatzerlöse aus dem Fahrkartenverkauf erzielt werden und gleichzeitig die Auszahlungen sinken. Voraussetzung für die gleichbleibende Leistung ist, dass die substituierte Linie 246 vorher nur in geringem Maß ausgelastet war. Für einen positiven Kapitalwert ist eine Steigerung der Fahrgastanzahl des Quartiersbusses um 39,2 Prozent notwendig.

Für das dritte Szenario ergibt sich ein anderes Bild. Die Laufleistung steigt im Vergleich zu Szenario 1 um fast ein Drittel. Durch eine effiziente Dienstplanung wirkt sich dies nur vermindert auf die Arbeitszeit aus, sie steigt nur um 11,9 Prozent. Dies führt dazu, dass trotz kleinerer Fahrzeuge die Summe der Auszahlungen um 8,7 Prozent steigen. Obwohl gleichfalls Umsatzerlöse und Ausgleichszahlungen steigen, verringert

sich der Kapitalwert in Relation zu Szenario 1. Weder eine absolute noch eine relative Vorteilhaftigkeit dieser Investitionsentscheidung ist gegeben. Die erforderliche Nachfragesteigerung, um einen Zuschussbedarf in gleicher Höhe wie in Szenario 1 zu erreichen, ist mit einem Prozent als gering zu bewerten.

Für eine Entscheidung über die Einführung der Angebotsform sind insbesondere drei Aspekte ausschlaggebend: die Genehmigungsform, die Laufleistung zur Beförderung sowie die Dienstplanung.

Die Genehmigung des Quartiersbusses nach § 42 PBefG stellt eine kritische Voraussetzung für einen gegenüber dem derzeitigen Linienverkehr vorteilhaften alternativen Betrieb dar. Wie in Abschnitt 3.1.1 dargelegt, ist diese für den Quartiersbus fraglich. Entfielen der Anspruch auf Zuschüsse für die Fahrzeugbeschaffung sowie auf Ausgleichszahlungen, wäre selbst in Szenario 2 der Zuschussbedarf mehr als doppelt so hoch wie im derzeitigen Linienverkehr. Hinzu kommt, dass keine entgeltlose bzw. ermäßigte Beförderung mehr möglich wäre und außerdem der reguläre Mehrwertsteuersatz auf Fahrkarten erhoben würde. Die daraus folgenden Preiserhöhungen führten dazu, dass die Unterstellung einer gleichbleibenden Fahrgastanzahl nicht mehr haltbar wäre.

Des Weiteren ist eine entscheidende Bedingung für eine Einsparung bei differenzierter Bedienung gegenüber dem Linienverkehr, dass die substituierten Fahrten eine geringe Auslastung verzeichneten und somit einen sehr hohen Zuschussbedarf verursachten. Übersteigt die Laufleistung zur Beförderung des Quartiersbusses diejenige der ersetzten Linienfahrten deutlich, so ist das ein Indiz dafür, dass keine Verringerung des Zuschussbedarfs erzielt werden kann. Es ist demnach mit Hilfe des erstellten Modells in Abhängigkeit von der Nachfrage eine ausgewogene Kombination aus Linienverkehr und alternativer Betriebsform zu wählen.

Während bei der Planung eines Verkehrsangebots ein effizienter Fahrpersonal- und Fahrzeugeinsatz eines der wichtigsten Ziele darstellt, wurden die Betriebszeiten des Quartiersbusses in dieser Arbeit unter der Maßgabe gewählt, ein mit dem jetzigen Linienverkehr vergleichbares Angebot zu erstellen. Wird die Planung der differenzierten Bedienung jedoch danach ausgerichtet, die unproduktiven Zeitanteile zu minimieren, so wird eine weitere Verringerung des Zuschussbedarfs als realistisch erachtet.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Ein- und Auszahlungen bei differenzierter Bedienung im Busverkehr sehr detailliert ermittelt. Dafür musste jedoch auf eine Reihe von Annahmen zurückgegriffen werden. Ob diese sich als zutreffend herausstellen und die berechneten Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit eintreten, sollte in einem nächsten Schritt im praktischen Betrieb überprüft werden.

Literatur

- Allgemeiner Deutscher Automobilclub (ADAC) (2016). *Monatliche Durchschnittspreise Kraftstoffe seit 2000*. Abgerufen am 06.10.2016, www.adac.de/infotestrat/tanken-kraftstoffe-und-antrieb/kraftstoffpreise/kraftstoff-durchschnittspreise/.
- Ally, J. & T. Pryor (2016). „Life cycle costing of diesel, natural gas, hybrid and hydrogen fuel cell bus systems: An Australian case study“. In: *Energy Policy* Vol. 94, S. 285–294.
- Andree, U. F. (2011). *Wirtschaftlichkeitsanalyse öffentlicher Investitionsprojekte: Investitionen sicher und zuverlässig planen*. Freiburg: Haufe-Lexware.
- Becker, W. & S. Lutz (2007). *Gabler Kompakt-Lexikon Modernes Rechnungswesen*. 2. Aufl. Springer.
- Berenguel Fernandez, L. (2015). „Untersuchung eines innovativen Nahverkehrskonzepts auf Basis dynamischer Quell-, Ziel- und Routingvorgaben“. Masterarbeit. Universität Duisburg-Essen.
- Bihn, F. & G. Löcker (1994). *Differenzierte Bedienung: Nahverkehrs-Bedienung zwischen großem Verkehrsaufkommen und geringer Nachfrage*. Düsseldorf: Alba-Fachverlag.
- Böhler, S. et al. (2009 a). *Handbuch zur Planung flexibler Bedienungsformen im ÖPNV: ein Beitrag zur Sicherung der Daseinsvorsorge in nachfrageschwachen Räumen*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).
- Böhler, S. et al. (2009 b). *Mobilitätskonzepte zur Sicherung der Daseinsvorsorge in nachfrageschwachen Räumen: Evaluationsreport*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) / Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR).
- Böhler-Baedecker, S. et al. (2010). „Chancen und Risiken flexibler Bedienungsformen im ÖPNV in ländlichen Räumen“. In: *Informationen zur Raumentwicklung* Vol. 7, S. 477–488.
- Borsdorf, A. & O. Bender (2010). *Allgemeine Siedlungsgeographie*. Wien/Köln/Weimar: Böhlau.
- Bubeck, D. (2002). *Life Cycle Costing (LCC) im Automobilbau*. Hamburg: Kovač.
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (2016). *Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung*. Abgerufen am 17.08.2016, www.inkar.de.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2013). *Sozio-ökonomische und verkehrspolitische Rahmenbedingungen der Verkehrsprognose, Zusammenfassende Darstellung*.

- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2016). *Bundesverkehrswegeplan 2030, Entwurf*.
- Bünting, F. (2009). „Lebenszykluskostenbetrachtungen bei Investitionsgütern“. In: *Lebenszykluskosten optimieren: Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern*. Hrsg. von S. Schweiger. Springer, S. 35–50.
- Busch, F., S. Diesch & P. Kirchhoff (2004). „Besserer Busverkehr auf dem Land“. In: *Internationales Verkehrswesen* Vol. 56.Nr. 5, S. 220–223.
- Cooney, G., T. R. Hawkins & J. Marriott (2013). „Life cycle assessment of diesel and electric public transportation buses“. In: *Journal of Industrial Ecology* Vol. 17.Nr. 5, S. 689–699.
- Daimler AG (2016). *Der Sprinter City. Die technischen Daten im Überblick*. Abgerufen am 02.11.2016, www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/bus/home/new_buses/models/minibuses/Sprinter_City_e6/facts/technical_data.html.
- Dalkmann, H. & T. Ötting (2004). „Flexible Angebotsformen: Möglichkeiten zur Kosteneinsparung bei verbessertem Angebot?“. In: *Verkehrssystem- und Mobilitätsmanagement im ländlichen Raum*. Hrsg. von A. Kagermeier. Bd. 10. Mannheim: Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung, S. 75–90.
- Degano, M. (o. J.). *Technical Data - Mercedes Sprinter City 35*. Abgerufen am 04.10.2016, www.bustocoach.com/en/content/mercedes-sprinter-city-35-euro-vi-7-metres-city-class-i-1-door.
- Dennig, D. & N. Sieber (2002). „Alternative Bedienungsformen im ÖPNV. Typisierung und rechtlicher Rahmen“. In: *Verkehr und Technik* Vol. 3, S. 109–113.
- Deutsche Bahn (DB) Vertrieb GmbH (2016). *Fahrplan & Buchung*. Abgerufen am 20.10.2016, <https://www.bahn.de/p/view/index.shtml>.
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) (2016). *Busfahren on demand: DLR entwickelt im Projekt Reallabor Schorndorf bedarfsorientiertes Buskonzept ohne Haltestellen*. Abgerufen am 07.10.2016, www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10122/333_read-16600/#/gallery/21881.
- Eckardt, F. (2011). „Bedarfsverkehre online buchen“. In: *Der Nahverkehr* Vol. 29.Nr. 4, S. 51–53.
- Ercan, T. et al. (2015). „Optimization of transit bus fleet’s life cycle assessment impacts with alternative fuel options“. In: *Energy* Vol. 93, S. 323–334.
- Erdölbevorratungsverband (2012). *Mitteilung des Erdölbevorratungsverbandes Körperschaft des öffentlichen Rechts, über den Beitragssatz des Erdölbevorratungsverbandes*. Hamburg.
- Europäische Zentralbank (EZB) (2016). *Euro exchange rates USD*. Abgerufen am 21.09.2016, www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-usd.en.html.
- Follmer, R. et al. (2009). *Mobilität in Deutschland 2008*. infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

- Frank, P., M. Friedrich & J. Schlaich (2008). „Betriebskosten von Busverkehren schnell und genau ermitteln“. In: *Der Nahverkehr* Vol. 26.Nr. 11.
- Friedrich, M. (1994). „Rechnergestütztes Entwurfsverfahren für den ÖPNV im ländlichen Raum (Dissertation)“. In: *Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrs- und Stadtplanung, Technische Universität München*, Vol. 5.
- Friedrich, M., J. Schlaich & G. Schleupen (2007). „Modell zur Ermittlung der Betriebsleistung und der Betriebskosten für Busverkehre“. In: *Tagungsband zu den 21. Verkehrswissenschaftlichen Tagen* Vol. 21.
- Gebhardt, L., T. Sippel & F. Ulmer (2016). *Meilensteinbericht A: Ausgangssituation für Reallabor Schorndorf*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Stuttgart.
- Görgler, J. (2014). „Mercedes-Benz Minibusse – Neuer Sprinter startklar für neue Märkte“. In: *Eurobus* Vol. 6, S. 20–21.
- Götze, U. (2000). „Lebenszykluskosten“. In: *Kostencontrolling - Neue Methoden und Inhalte*. Hrsg. von T. M. Fischer. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. 265–289.
- Günther, E. (2008). *Ökologieorientiertes Management*. Stuttgart: Lucius & Lucius.
- Herrmann, C. (2010). *Ganzheitliches Life Cycle Management: Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen*. Springer.
- Hoffmann, P. (1993). *Flexible Bedienungsformen im ÖPNV. Schriftenreihe für Verkehr und Technik*.
- Holzapfel, M. (1992). *Wirtschaftlichkeit wissensbasierter Systeme*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) (2016). *Daten zur aktuellen Konjunktur- und Arbeitsmarktentwicklung*. Abgerufen am 29.09.2016, www.iab.de/de/daten/arbeitsmarktentwicklung.aspx.
- International Association of Public Transport (UITP) (2011). *A comprehensive approach for bus systems and CO2 emission reduction*.
- (2014). *UITP Project SORT, Standardised On-Road Test Cycles*.
- Kagermeier, A. (2004). „Verkehrssystem-und Mobilitätsmanagement unter den Bedingungen des ländlichen Raumes“. In: *Verkehrssystem-und Mobilitätsmanagement im ländlichen Raum*. Hrsg. von A. Kagermeier. Bd. 10. Mannheim: Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung, S. 17–24.
- Kirchhoff, P. & A. Tsakarestos (2007). *Planung des ÖPNV in ländlichen Räumen: Ziele - Entwurf - Realisierung*. Wiesbaden: Teubner.
- Kleinaltenkamp, M. (1995). *Technischer Vertrieb: Grundlagen*. Berlin: Springer.
- Kocks, M. et al. (2005). „Anpassungsstrategien für ländliche / periphere Regionen mit starkem Bevölkerungsrückgang in den neuen Ländern“. In: *Werkstatt: Praxis* Vol. 38. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.
- Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) (2016). *Konditionenübersicht für Endkreditnehmer*. Abgerufen am 29.11.2016, www.kfw-formularsammlung.de/KonditionenanzeigerINet/KonditionenAnzeiger.

- Lajunen, A. & T. Lipman (2016). „Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses“. In: *Energy* Vol. 106, S. 329–342.
- Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL BW) (o. J.). *Geoportal Baden-Württemberg Festpunktanzeige*. Abgerufen am 19.08.2016, www.geoportal.lv-bw.de/festpunkte.html.
- Landtag von Baden-Württemberg (BW) (2002). *Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt und Verkehr zur Gewährung von Zuwendungen für die Beschaffung von Fahrzeugen nach dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz / Regionalisierungsgesetz*. Drucksache 13 / 1960.
- Leuthardt, H. (2005). „Betriebskosten von Linienbussen im systematischen Vergleich“. In: *Der Nahverkehr* Vol. 23.Nr. 11, S. 20–24.
- Lohse, D., C. Schiller & H. Teichert (2006). „Modellierung von alternativen Bedienungsformen“. In: *Wege zu einem zukunftsfähigen ÖPNV*. Lasch, R. und Lemke, A. (Hrsg.)
- Mehlert, C. (1998). „Angebotsbezeichnungen bei alternativen Bedienungsformen“. In: *Der Nahverkehr* Vol. 16.Nr. 6, S. 56–58.
- Mehlert, C. & A. Zietz (2014). *Planungsleitfaden Flexible Angebotsformen - Eine Handreichung zur Konzeption, Planung und Umsetzung von flexiblen Angebotsformen im ÖPNV*. Hamburger Verkehrsverbund. Hamburg.
- Ministerium für Soziales und Integration Baden-Württemberg (MSI BW) (2016). *Verwaltungsvorschrift des Sozialministeriums über die Erstattung der durch die unentgeltliche Beförderung schwerbehinderter Menschen entstandenen Fahrgeldausfälle*.
- Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (MVI BW) (2016). *Feststellung des Busprogramms 2016 zur Förderung umweltfreundlicher emissionsarmer ÖPNV - Linienbusse gem. §5 Abs. 1 LGVFG*.
- Müller-Hellmann, A. & B. E. Nickel (2009). *Differenzierte Bedienung im ÖPNV: flexible Bedienungsweisen als Baustein eines marktorientierten Leistungsangebotes*. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen.
- Nafziger, R. (1997). „Wirtschaftlichkeitsrechnung“. In: *Wirtschaftlichkeitsanalysen für Ballungsraumfernsehen: Modelltheoretische Untersuchungen aus Sicht potentieller Investoren*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, S. 247–299.
- Neumann, M. (2012). „Im Blickpunkt: Die Stadt Schorndorf im Remstal“. In: *Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg* Vol. 6, S. 47–49.
- Nickel, B. E. (2010). „Nicht nur Bahn und Linienbus“. In: *Der Nahverkehr* Vol. 28.Nr. 4, S. 56–61.
- Nocera, S. (2004). *Steuerung des Sektorbetriebs bei nachfrageabhängiger ÖPNV- Bedienung*. 4. Aufl.
- Potts, J. F. et al. (2010). *A guide for planning and operating flexible public transportation services*. Transportation Research Board.

- Pütz, R. (2010). *Strategische Optimierung von Linienbusflotten*.
- Rebitzer, G. & D. Hunkeler (2003). „Life cycle costing in LCM: ambitions, opportunities, and limitations“. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* Vol. 8.Nr. 5, S. 253–256.
- Schermer, M. & S. Schöning (2014). „Finanzielle Absicherung der Kosten für Dieselmotorkraftstoff bei Transportunternehmen“. In: *WiSt - Wirtschaftswissenschaftliches Studium* Vol. 43.Nr. 6, S. 298–305.
- Schlesinger, M., D. Lindenberger & C. Lutz (2014). *Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose - Projekt Nr. 57/12*. Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin.
- Schnieder, L. (2015). *Betriebsplanung im öffentlichen Personennahverkehr: Ziele, Methoden, Konzepte*. Springer.
- Schulte, K.-W. (1986). *Wirtschaftlichkeitsrechnung*. 4. Aufl. Heidelberg: Physica.
- Schuster, B. (1992). „Flexible Betriebsweisen des ÖPNV im ländlichen Raum“. In: *Der Nahverkehr* Vol. 10.Nr. 7, S. 41–45.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2014 a). *Gemeindeverzeichnis-Informationssystem*. Abgerufen am 16.08.2016, www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/LaenderRegionen.html.
- (2016). *EU-Vergleich der Arbeitskosten 2015: Deutschland auf Rang acht*. Abgerufen am 04.10.2016, www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2016/04/PD16_143_624.html.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (SL BW) (2016). *Bevölkerung und Gebiet*. Abgerufen am 24.08.2016, www.statistik-bw.de.
- Steinmeier, U. (2011). „Bedarfsorientierte Verkehre flexibel und einfach disponieren“. In: *Der Nahverkehr* Vol. 29.Nr. 7-8, S. 25–27.
- Tschakert, W. (2016). „Mercedes-Benz Sprinter City 65 – Hochpreisig, aber sparsamer im Verbrauch“. In: *Bus Blickpunkt* Vol. 9, S. 18.
- Underberg, R. (2004). *Bereitstellung und Nutzung von Messwerten des Verkehrsablaufs im ÖPNV im ländlichen Raum*. 5. Aufl.
- VDI-Richtlinie 2884 (2005). *Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC)*.
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) (2006). *Verfahren zur Ermittlung von Personal-Kennzahlen für die Instandhaltung und Bereitstellung von Linienbussen*. VDV-Schrift 881. Mannheim.
- Verband Region Stuttgart (VRS) (2011). „Mobilität und Verkehr in der Region Stuttgart 2009/2010 – Regionale Haushaltsbefragung zum Verkehrsverhalten“. In: *Schriftenreihe Verband Region Stuttgart* Vol. 29.
- Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft (Verdi), Kommunaler Arbeitgeberverband Baden-Württemberg (o. J.). *Bezirkstarifvertrag für die kommunalen Nahverkehrsbetriebe Baden-Württemberg*. 13. November 2001, zuletzt geändert am 12. Februar 2015.

- Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart (VVS) (2016 a). *Elektronische Fahrplanauskunft*. Abgerufen am 20.10.2016, www2.vvs.de/vvs/XSLT_REQUEST?language=de.
- (2016 b). *Fahrpläne der Linien 242, 246, 247, gültig ab 13.12.2015*. Abgerufen am 18.08.2016, www.vvs.de/fahrplan/.
 - (2016 c). *Tickets*. Abgerufen am 20.10.2016, www.vvs.de/tickets/.

A Anhang

Verkehrstage

Tabelle A.1: Anzahl der Verkehrstage $d_{t,w}$ bzw. d_w pro Jahr

	t	Jahr	Verkehrstag w		
			MF	Sa	SF
$d_{t,w}$	1	2017	248	54	63
	2	2018	248	53	64
	3	2019	248	54	63
	4	2020	251	52	63
	5	2021	250	53	62
	6	2022	251	52	62
	7	2023	249	54	62
	8	2024	249	53	64
	9	2025	248	53	64
	10	2026	250	52	63
	11	2027	251	52	62
	12	2028	252	53	61
d_w	Durchschnitt		249,5	53	62,75

Fahr- und Dienstplanung

Abbildung A.1: Fahrplan der Linie 242 (VVS 2016 b)

242										Schorndorf Bahnhof- Kreiskrankenhaus - Spittler Stift - Grauhalde - Kreiskrankenhaus - Bahnhof										Knauss										vvs																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
										Gültig ab 13.12.2015																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
										MONTAG - FREITAG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Verkehrsinweis																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
R2 Hauptbahnhof										ab										an																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
R2 Schorndorf										04.53 05.16										05.32 05.57										05.57 06.20										06.20 06.50										06.50 07.13										07.13 07.49										07.49 08.22										08.22 08.44										08.44 09.22										09.22 09.44										09.44 10.22										10.22 11.00										11.00 11.44										11.44 12.22										12.22 12.44										12.44 13.22										13.22 13.44										13.44 14.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
S2 Hauptbahnhof										ab										05.35 06.10										05.50 06.25										06.05 06.40										06.35 07.10										07.05 07.40										07.35 08.10										08.05 08.40										08.35 09.10										09.05 09.40										09.35 10.10										10.05 10.40										10.35 11.10										11.05 11.40										11.25 12.00										12.05 12.30										12.35 13.10										13.05 13.40										13.45 14.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
S2 Schorndorf										ab										05.50 06.25										06.05 06.40										06.35 07.10										07.05 07.40										07.35 08.10										08.05 08.40										08.35 09.10										09.05 09.40										09.35 10.10										10.05 10.40										10.35 11.10										11.05 11.40										11.25 12.00										12.05 12.30										12.35 13.10										13.05 13.40										13.45 14.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Schorndorf Bf (Bstg 3)										ab										05.07 05.32										05.52 06.16										06.36 06.54										07.19 07.49										08.19 08.49										09.19 09.49										10.19 10.49										11.19 11.49										12.19 12.49										12.49 13.19										13.19 13.49										14.19 14.49																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
- Künkelinschule																				05.07 05.32										05.52 06.16										06.36 06.54										07.19 07.49										08.19 08.49										09.19 09.49										10.19 10.49										11.19 11.49										12.19 12.49										12.49 13.19										13.19 13.49										14.19 14.49																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
- Schlossstraße																				05.10 05.35										05.55 06.20										06.39 06.57										07.22 07.52										08.22 08.52										09.22 09.52										10.22 10.52										11.22 11.52										12.22 12.52										12.52 13.22										13.22 13.52										14.22 14.52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
- Haydnstraße/Bäder																				05.11 05.36										05.56 06.21										06.40 06.58										07.23 07.53										08.23 08.53										09.23 09.53										10.23 10.53										11.23 11.53										12.23 12.53										12.53 13.23										13.23 13.53										14.23 14.53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
- Gottlob-Kamm-Platz																				05.12 05.37										05.57 06.22										06.41 06.59										07.24 07.54										08.24 08.54										09.24 09.54										10.24 10.54										11.24 11.54										12.24 12.54										12.54 13.24										13.24 13.54										14.24 14.54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
- Kreiskrankenhaus																				05.13 05.38										05.58 06.22										06.38 06.56										07.26 07.56										08.26 08.56										09.26 09.56										10.26 10.56										11.26 11.56										12.26 12.56										12.56 13.26										13.26 13.56										14.26 14.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
- Spittler Stift																				05.15 05.40										05.56 06.24										06.40 06.58										07.28 07.58										08.28 08.58										09.28 09.58										10.28 10.58										11.28 11.58										12.28 12.58										12.58 13.28										13.28 13.58										14.28 14.58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
- Röhrenweg																				05.16 05.41										05.57 06.25										06.41 06.59										07.29 07.59										08.29 08.59										09.29 09.59										10.29 10.59										11.29 11.59										12.29 12.59										12.59 13.29										13.29 13.59										14.29 14.59																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
- Buchenweg																				05.17 05.42										05.58 06.26										06.42 07.00										07.30 08.00										08.30 09.00										09.30 10.00										10.30 11.00										11.30 12.00										12.30 13.00										13.00 14.00										14.00 14.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
- Lindenweg																				05.18 05.43										05.59 06.27										06.43 07.01										07.31 08.01										08.31 09.01										09.31 10.01										10.31 11.01										11.31 12.01										12.31 13.01										13.01 14.01										14.01 14.31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
- Grauhalde																				05.19 05.44										06.00 06.28										06.44 07.02										07.32 08.02										08.32 09.02										09.32 10.02										10.32 11.02										11.32 12.02										12.32 13.02										13.02 14.02										14.02 14.32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
- Kreiskrankenhaus																				05.20 05.45										06.01 06.29										06.45 07.03										07.33 08.03										08.33 09.03										09.33 10.03										10.33 11.03										11.33 12.03										12.33 13.03										13.03 14.03										14.03 14.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
- Gottlob-Kamm-Platz																				05.21 05.46										06.02 06.30										06.46 07.04										07.34 08.04										08.34 09.04										09.34 10.04										10.34 11.04										11.34 12.04										12.34 13.04										13.04 14.04										14.04 14.34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
- Haydnstraße/Bäder																				05.22 05.47										06.03 06.31										06.47 07.05										07.35 08.05										08.35 09.05										09.35 10.05										10.35 11.05										11.35 12.05										12.35 13.05										13.05 14.05										14.05 14.35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
- Schlossstraße																				05.24 05.49										06.05 06.33										06.49 07.07										07.37 08.07										08.37 09.07										09.37 10.07										10.37 11.07										11.37 12.07										12.37 13.07										13.07 14.07										14.07 14.37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
- Künkelnhalle																				05.25 05.50										06.06 06.34										06.50 07.08										07.38 08.08										08.38 09.08										09.38 10.08										10.38 11.08										11.38 12.08										12.38 13.08										13.08 14.08										14.08 14.38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
- Bahnhof (Bstg 3)										an										05.27 05.52										06.09 06.36										06.53 07.11										07.41 08.11										08.41 09.11										09.41 10.11										10.41 11.11										11.41 12.11										12.11 13.41										13.41 14.11										14.11 14.41																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
S2 Schorndorf										ab										05.33 06.08										06.18 06.46										07.03 07.18										07.48 08.18										08.48 09.18										09.48 10.18										10.48 11.18										11.48 12.18										12.18 12.48										13.18 13.48										14.18 14.48																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
S2 Hauptbahnhof										ab										06.10 06.40										06.55 07.25										07.40 07.55										08.25 08.55										09.25 09.55										10.25 10.55										11.25 11.55										12.25 12.55										13.25 13.55										14.25 14.55										15.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Verkehrsinweis																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	



Schorndorf Bahnhof- Kreiskrankenhaus - Spittler Stift - Grauhalde - Kreiskrankenhaus - Bahnhof



		SAMSTAG																									
52 Hauptbahnhof	ab	21.35	22.35	23.35																							
52 Schorndorf	an	22.10	23.10	00.10																							
Schorndorf Bf (Bstg 3)	ab	22.19	23.19	00.19																							
- Künkelinschule		22.20	23.20	00.20																							
- Schlossstraße		22.22	23.22	00.22																							
- Haydnstraße/Bäder		22.23	23.23	00.23																							
- Gottlob-Kamm-Platz		22.24	23.24	00.24																							
- Kreiskrankenhaus		22.26	23.26	00.26																							
- Spittler Stift		22.28	23.28	00.28																							
- Röhrachweg		22.29	23.29	00.29																							
- Buchenweg		22.30	23.30	00.30																							
- Lindenweg		22.31	23.31	00.31																							
- Grauhalde		22.32	23.32	00.32																							
- Kreiskrankenhaus		22.33	23.33	00.33																							
- Gottlob-Kamm-Platz		22.34	23.34	00.34																							
- Haydnstraße/Bäder		22.36	23.36	00.36																							
- Schlossstraße		22.37	23.37	00.37																							
- Künkelinhalte		22.38	23.38	00.38																							
- Bahnhof (Bstg 3)	an	22.41	23.41	00.41																							
Verkehrshinweis				VG																							
52 Schorndorf	ab	22.48	23.48	00.48																							
52 Hauptbahnhof	an	23.25	00.25	01.25																							
		SONN-/FEIERTAG																									
52 Hauptbahnhof	ab	05.35	06.35	07.35	08.35	09.35	10.35	11.35	12.35	13.35	14.35	15.35	16.35	17.35	18.35	19.35	20.35	21.35	22.35	23.35							
52 Schorndorf	an	06.10	07.10	08.10	09.10	10.10	11.10	12.10	13.10	14.10	15.10	16.10	17.10	18.10	19.10	20.10	21.10	22.10	23.10	00.10							
Schorndorf Bf (Bstg 3)	ab	06.19	07.19	08.19	09.19	10.19	11.19	12.19	13.19	14.19	15.19	16.19	17.19	18.19	19.19	20.19	21.19	22.19	23.19	00.19							
- Künkelinschule		06.20	07.20	08.20	09.20	10.20	11.20	12.20	13.20	14.20	15.20	16.20	17.20	18.20	19.20	20.20	21.20	22.20	23.20	00.20							
- Schlossstraße		06.22	07.22	08.22	09.22	10.22	11.22	12.22	13.22	14.22	15.22	16.22	17.22	18.22	19.22	20.22	21.22	22.22	23.22	00.22							
- Haydnstraße/Bäder		06.23	07.23	08.23	09.23	10.23	11.23	12.23	13.23	14.23	15.23	16.23	17.23	18.23	19.23	20.23	21.23	22.23	23.23	00.23							
- Gottlob-Kamm-Platz		06.24	07.24	08.24	09.24	10.24	11.24	12.24	13.24	14.24	15.24	16.24	17.24	18.24	19.24	20.24	21.24	22.24	23.24	00.24							
- Kreiskrankenhaus		06.26	07.26	08.26	09.26	10.26	11.26	12.26	13.26	14.26	15.26	16.26	17.26	18.26	19.26	20.26	21.26	22.26	23.26	00.26							
- Spittler Stift		06.28	07.28	08.28	09.28	10.28	11.28	12.28	13.28	14.28	15.28	16.28	17.28	18.28	19.28	20.28	21.28	22.28	23.28	00.28							
- Röhrachweg		06.29	07.29	08.29	09.29	10.29	11.29	12.29	13.29	14.29	15.29	16.29	17.29	18.29	19.29	20.29	21.29	22.29	23.29	00.29							
- Buchenweg		06.30	07.30	08.30	09.30	10.30	11.30	12.30	13.30	14.30	15.30	16.30	17.30	18.30	19.30	20.30	21.30	22.30	23.30	00.30							
- Lindenweg		06.31	07.31	08.31	09.31	10.31	11.31	12.31	13.31	14.31	15.31	16.31	17.31	18.31	19.31	20.31	21.31	22.31	23.31	00.31							
- Grauhalde		06.32	07.32	08.32	09.32	10.32	11.32	12.32	13.32	14.32	15.32	16.32	17.32	18.32	19.32	20.32	21.32	22.32	23.32	00.32							
- Kreiskrankenhaus		06.33	07.33	08.33	09.33	10.33	11.33	12.33	13.33	14.33	15.33	16.33	17.33	18.33	19.33	20.33	21.33	22.33	23.33	00.33							
- Gottlob-Kamm-Platz		06.34	07.34	08.34	09.34	10.34	11.34	12.34	13.34	14.34	15.34	16.34	17.34	18.34	19.34	20.34	21.34	22.34	23.34	00.34							
- Haydnstraße/Bäder		06.36	07.36	08.36	09.36	10.36	11.36	12.36	13.36	14.36	15.36	16.36	17.36	18.36	19.36	20.36	21.36	22.36	23.36	00.36							
- Schlossstraße		06.37	07.37	08.37	09.37	10.37	11.37	12.37	13.37	14.37	15.37	16.37	17.37	18.37	19.37	20.37	21.37	22.37	23.37	00.37							
- Künkelinhalte		06.38	07.38	08.38	09.38	10.38	11.38	12.38	13.38	14.38	15.38	16.38	17.38	18.38	19.38	20.38	21.38	22.38	23.38	00.38							
- Bahnhof (Bstg 3)	an	06.41	07.41	08.41	09.41	10.41	11.41	12.41	13.41	14.41	15.41	16.41	17.41	18.41	19.41	20.41	21.41	22.41	23.41	00.41							
52 Schorndorf	ab	06.48	07.48	08.48	09.48	10.48	11.48	12.48	13.48	14.48	15.48	16.48	17.48	18.48	19.48	20.48	21.48	22.48	23.48								
52 Hauptbahnhof	an	07.25	08.25	09.25	10.25	11.25	12.25	13.25	14.25	15.25	16.25	17.25	18.25	19.25	20.25	21.25	22.25	23.25	00.25								

ZEICHENERKLÄRUNG:

VG ab 10.12.16

Abbildung A.2: Fahrplan der Linie 246 (VVS 2016 b)

246

Schorndorf Bf - Erlensiedlung - Kreisverkehr Welzheimer Str.

Gültig ab 13.12.2015

→

S9 Hauptbahnhof

ab

S9 Schorndorf

an

Schorndorf Bf (Bstg 4)

ab

Lederstraße

Baumwasenstraße

Steinbeisstraße

Grafenbergweg

Talstraße

Mittlere Brücke

Schornbacher Weg

Holzbergweg

Schlipfweg

Konrad-Haussmann-Weg

Kreisverkehr Welzh.Str.

→

S9 Hauptbahnhof

ab

S9 Schorndorf

an

Schorndorf Bf (Bstg 4)

ab

Lederstraße

Baumwasenstraße

Steinbeisstraße

Grafenbergweg

Talstraße

Mittlere Brücke

Schornbacher Weg

Holzbergweg

Schlipfweg

Konrad-Haussmann-Weg

Kreisverkehr Welzh.Str.

→

S9 Hauptbahnhof

ab

S9 Schorndorf

an

Schorndorf Bf (Bstg 4)

ab

Lederstraße

Baumwasenstraße

Steinbeisstraße

Grafenbergweg

Talstraße

Mittlere Brücke

Schornbacher Weg

Holzbergweg

Schlipfweg

Konrad-Haussmann-Weg

Kreisverkehr Welzh.Str.

246

Schorndorf Kreisverkehr Welzheimer Str. - Erlensiedlung - Bahnhof

←

Schornd. Kreiv. Welzh. Str

an

Wieslaufweg

Welzheimer Straße

Talstraße

Erlensiedlung

Grafenbergweg

Steinbeisstraße

Baumwasenstraße

Lederstraße

Bahnhof (Bstg 4)

S9 Schorndorf

S9 Hauptbahnhof

←

S9 Schorndorf

ab

S9 Hauptbahnhof

an

←

Schornd. Kreiv. Welzh. Str

an

Wieslaufweg

Welzheimer Straße

Erlensiedlung

Grafenbergweg

Steinbeisstraße

Baumwasenstraße

Lederstraße

Bahnhof (Bstg 4)

Verkehrshinweis

S9 Schorndorf

S9 Hauptbahnhof

←

S9 Schorndorf

ab

S9 Hauptbahnhof

an

ZEICHENERKLÄRUNG:

A10 nicht 24.12.

Abbildung A.3: Fahrplan der Linie 247 (VVS 2016 b)

247		Schorndorf Bahnhof - Grauhalde - Alte Steige - Neuer Friedhof - Bahnhof Knauss vvs																		
		Gültig ab 13.12.2015																		
		MONTAG - FREITAG																		
S2 Hauptbahnhof		ab		05.35	06.05	06.35	07.05	08.05	09.05	10.05	11.05	12.05	13.05	14.05	15.05	15.35	16.05	16.35	17.05	17.35
S2 Schorndorf		an		06.10	06.40	07.10	07.40	08.40	09.40	10.40	11.40	12.40	13.40	14.40	15.40	16.10	16.40	17.10	17.40	18.10
Schorndorf Bf (Bstg 1)	ab	05.19	05.49	06.19	06.49	07.19	07.49	08.49	09.49	10.49	11.49	12.49	13.49	14.49	15.49	16.19	16.49	17.19	17.49	18.19
- Künkelinschule		05.21	05.51	06.21	06.51	07.21	07.51	08.51	09.51	10.51	11.51	12.51	13.51	14.51	15.51	16.21	16.51	17.21	17.51	18.21
- Burggymnasium		05.22	05.52	06.22	06.52	07.22	07.52	08.52	09.52	10.52	11.52	12.52	13.52	14.52	15.52	16.22	16.52	17.22	17.52	18.22
- Schillerplatz		05.23	05.53	06.23	06.53	07.23	07.53	08.53	09.53	10.53	11.53	12.53	13.53	14.53	15.53	16.23	16.53	17.23	17.53	18.23
- Jakob-Raible-Anlage		05.24	05.54	06.24	06.54	07.24	07.54	08.54	09.54	10.54	11.54	12.54	13.54	14.54	15.54	16.24	16.54	17.24	17.54	18.24
- Mönchsbrücke		05.25	05.55	06.25	06.55	07.25	07.55	08.55	09.55	10.55	11.55	12.55	13.55	14.55	15.55	16.25	16.55	17.25	17.55	18.25
- Lindenweg		05.26	05.56	06.26	06.56	07.26	07.56	08.56	09.56	10.56	11.56	12.56	13.56	14.56	15.56	16.26	16.56	17.26	17.56	18.26
- Grauhalde		05.26	05.56	06.26	06.56	07.26	07.56	08.56	09.56	10.56	11.56	12.56	13.56	14.56	15.56	16.26	16.56	17.26	17.56	18.26
- Alte Steige		05.27	05.57	06.27	06.57	07.27	07.57	08.57	09.57	10.57	11.57	12.57	13.57	14.57	15.57	16.27	16.57	17.27	17.57	18.27
- Mönchsbrücke		05.29	05.59	06.29	06.59	07.29	07.59	08.59	09.59	10.59	11.59	12.59	13.59	14.59	15.59	16.29	16.59	17.29	17.59	18.29
- Hungerbühlstraße		05.31	06.01	06.31	07.01	07.31	08.01	09.01	10.01	11.01	12.01	13.01	14.01	15.01	16.01	16.31	17.01	17.31	18.01	18.31
- Neuer Friedhof		05.32	06.02	06.32	07.02	07.32	08.02	09.02	10.02	11.02	12.02	13.02	14.02	15.02	16.02	16.32	17.02	17.32	18.02	18.32
- Auerhahnstraße		05.33	06.03	06.33	07.03	07.33	08.03	09.03	10.03	11.03	12.03	13.03	14.03	15.03	16.03	16.33	17.03	17.33	18.03	18.33
- Epplerinweg		05.34	06.04	06.34	07.04	07.34	08.04	09.04	10.04	11.04	12.04	13.04	14.04	15.04	16.04	16.34	17.04	17.34	18.04	18.34
- Risslerinstraße		05.34	06.04	06.34	07.04	07.34	08.04	09.04	10.04	11.04	12.04	13.04	14.04	15.04	16.04	16.34	17.04	17.34	18.04	18.34
- Schillerplatz		05.35	06.05	06.35	07.05	07.35	08.05	09.05	10.05	11.05	12.05	13.05	14.05	15.05	16.05	16.35	17.05	17.35	18.05	18.35
- Burggymnasium		05.36	06.06	06.36	07.06	07.36	08.06	09.06	10.06	11.06	12.06	13.06	14.06	15.06	16.06	16.36	17.06	17.36	18.06	18.36
- Künkelnhalle		05.37	06.07	06.37	07.07	07.37	08.07	09.07	10.07	11.07	12.07	13.07	14.07	15.07	16.07	16.37	17.07	17.37	18.07	18.37
- Bahnhof (Bstg 6)	an	05.41	06.11	06.41	07.11	07.41	08.11	09.11	10.11	11.11	12.11	13.11	14.11	15.11	16.11	16.41	17.11	17.41	18.11	18.41
S2 Schorndorf	ab	05.48	06.18	06.48	07.18	07.48	08.18	09.18	10.18	11.18	12.18	13.18	14.18	15.18	16.18	16.48	17.18	17.48	18.18	18.48
S2 Hauptbahnhof	an	06.25	06.55	07.25	07.55	08.25	08.55	09.55	10.55	11.55	12.55	13.55	14.55	15.55	16.55	17.25	17.55	18.25	18.55	19.25
		MONTAG - FREITAG																		
S2 Hauptbahnhof		ab	21.05	22.05	23.05															
S2 Schorndorf		an	21.40	22.40	23.40															
Schorndorf Bf (Bstg 1)	ab	21.49	22.49	23.49																
- Künkelinschule		21.51	22.51	23.51																
- Burggymnasium		21.52	22.52	23.52																
- Schillerplatz		21.53	22.53	23.53																
- Jakob-Raible-Anlage		21.54	22.54	23.54																
- Mönchsbrücke		21.55	22.55	23.55																
- Lindenweg		21.56	22.56	23.56																
- Grauhalde		21.56	22.56	23.56																
- Alte Steige		21.57	22.57	23.57																
- Mönchsbrücke		21.59	22.59	23.59																
- Hungerbühlstraße		22.01	23.01	00.01																
- Neuer Friedhof		22.02	23.02	00.02																
- Auerhahnstraße		22.03	23.03	00.03																
- Epplerinweg		22.04	23.04	00.04																
- Risslerinstraße		22.04	23.04	00.04																
- Schillerplatz		22.05	23.05	00.05																
- Burggymnasium		22.06	23.06	00.06																
- Künkelnhalle		22.07	23.07	00.07																
- Bahnhof (Bstg 6)	an	22.11	23.11	00.11																
S2 Schorndorf	ab	22.18	23.18	00.18																
S2 Hauptbahnhof	an	22.55	23.55	00.55																
		SAMSTAG																		
Verkehrshinweis																				
S2 Hauptbahnhof		ab	07.05	08.05	09.05	10.05	11.05	12.05	13.05	14.05	15.05	16.05	17.05	18.05	19.05	20.05	21.05	A3	A3	A3
S2 Schorndorf		an	07.40	08.40	09.40	10.40	11.40	12.40	13.40	14.40	15.40	16.40	17.40	18.40	19.40	20.40	21.40	22.05	23.05	00.05
Schorndorf Bf (Bstg 1)	ab	07.49	08.49	09.49	10.49	11.49	12.49	13.49	14.49	15.49	16.49	17.49	18.49	19.49	20.49	21.49	22.49	23.49	00.49	
- Künkelinschule		07.51	08.51	09.51	10.51	11.51	12.51	13.51	14.51	15.51	16.51	17.51	18.51	19.51	20.51	21.51	22.51	23.51	00.51	
- Burggymnasium		07.52	08.52	09.52	10.52	11.52	12.52	13.52	14.52	15.52	16.52	17.52	18.52	19.52	20.52	21.52	22.52	23.52	00.52	
- Schillerplatz		07.53	08.53	09.53	10.53	11.53	12.53	13.53	14.53	15.53	16.53	17.53	18.53	19.53	20.53	21.53	22.53	23.53	00.53	
- Jakob-Raible-Anlage		07.54	08.54	09.54	10.54	11.54	12.54	13.54	14.54	15.54	16.54	17.54	18.54	19.54	20.54	21.54	22.54	23.54	00.54	
- Mönchsbrücke		07.55	08.55	09.55	10.55	11.55	12.55	13.55	14.55	15.55	16.55	17.55	18.55	19.55	20.55	21.55	22.55	23.55	00.55	
- Lindenweg		07.56	08.56	09.56	10.56	11.56	12.56	13.56	14.56	15.56	16.56	17.56	18.56	19.56	20.56	21.56	22.56	23.56	00.56	
- Grauhalde		07.56	08.56	09.56	10.56	11.56	12.56	13.56	14.56	15.56	16.56	17.56	18.56	19.56	20.56	21.56	22.56	23.56	00.56	
- Alte Steige		07.57	08.57	09.57	10.57	11.57	12.57	13.57	14.57	15.57	16.57	17.57	18.57	19.57	20.57	21.57	22.57	23.57	00.57	
- Mönchsbrücke		07.59	08.59	09.59	10.59	11.59	12.59	13.59	14.59	15.59	16.59	17.59	18.59	19.59	20.59	21.59	22.59	23.59	00.59	
- Hungerbühlstraße		08.01	09.01	10.01	11.01	12.01	13.01	14.01	15.01	16.01	17.01	18.01	19.01	20.01	21.01	22.01	23.01	00.01	01.01	
- Neuer Friedhof		08.02	09.02	10.02	11.02	12.02	13.02	14.02	15.02	16.02	17.02	18.02	19.02	20.02	21.02	22.02	23.02	00.02	01.02	
- Auerhahnstraße		08.03	09.03	10.03	11.03	12.03	13.03	14.03	15.03	16.03	17.03	18.03	19.03	20.03	21.03	22.03	23.03	00.03	01.03	
- Epplerinweg		08.04	09.04	10.04	11.04	12.04	13.04	14.04	15.04	16.04	17.04	18.04	19.04	20.04	21.04	22.04	23.04	00.04	01.04	
- Risslerinstraße		08.04	09.04	10.04	11.04	12.04	13.04	14.04	15.04	16.04	17.04	18.04	19.04	20.04	21.04	22.04	23.04	00.04	01.04	
- Schillerplatz		08.05	09.05	10.05	11.05	12.05	13.05	14.05	15.05	16.05	17.05	18.05	19.05	20.05	21.05	22.05	23.05			

Tabelle A.2: Die Betriebs- und Taktzeiten der Szenarien im Vergleich

Szenario 1	Linie 242	Linie 247	Linie 246
MF	5:07 Uhr	5:19 Uhr	5:29 Uhr
	$t_{\text{Takt}} \approx 20 \text{ Min}$ (7:19 Uhr)	$t_{\text{Takt}} = 30 \text{ Min}$ (7:49 Uhr)	$t_{\text{Takt}} \approx 30 \text{ Min}$ (7:49 Uhr)
	\vdots	$t_{\text{Takt}} = 60 \text{ Min}$ (16:19 Uhr)	\vdots
	$t_{\text{Takt}} = 30 \text{ Min}$	$t_{\text{Takt}} = 30 \text{ Min}$ (18:49 Uhr)	$t_{\text{Takt}} = 60 \text{ Min}$
	\vdots (20:19 Uhr)	$t_{\text{Takt}} = 60 \text{ Min}$	\vdots
	$t_{\text{Takt}} = 60 \text{ Min}$ 0:41 Uhr	$t_{\text{Takt}} = 60 \text{ Min}$ 0:11	21:00 Uhr
Sa	5:19 Uhr	7:49 Uhr	8:00 Uhr
	$t_{\text{Takt}} = 30 \text{ Min}$ (11:19 Uhr)	\vdots $t_{\text{Takt}} = 60 \text{ Min}$	\vdots $t_{\text{Takt}} = 60 \text{ Min}$
	$t_{\text{Takt}} = 60 \text{ Min}$ 0:19 Uhr	\vdots 1:11 Uhr	\vdots 21:00 Uhr
SF	6:19 Uhr	6:49 Uhr	kein Angebot
	$t_{\text{Takt}} = 60 \text{ Min}$ 0:19 Uhr	$t_{\text{Takt}} = 120 \text{ Min}$ 23:11 Uhr	
Szenario 2	Linie 242	Linie 247	Quartiersbus
MF	5:07 Uhr	5:19 Uhr	5:30 Uhr
	wie Szenario 1 (19:41 Uhr)	wie Szenario 1 (20:11 Uhr)	alt. Betr. $u = N, m = 1$ (20:00 Uhr)
	20:00 Uhr - 0:30 Uhr alternativer Betrieb $u = G, m = 1$		
Sa	5:19 Uhr	7:49 Uhr	8:00 Uhr
	wie Szenario 1 (19:41 Uhr)	wie Szenario 1 (20:11 Uhr)	alt. Betr. $u = N, m = 1$ (20:00 Uhr)
	20:00 Uhr - 1:00 Uhr alternativer Betrieb $u = G, m = 1$		
SF	6:19 Uhr	6:49 Uhr	kein Angebot
	$t_{\text{Takt}} = 60 \text{ Min}$ (17:41 Uhr)	$t_{\text{Takt}} = 120 \text{ Min}$ (17:11 Uhr)	
	18:00 - 0:30 Uhr alt. Betr. $u = S, m = 1$		
Szenario 3	Linie 242	Quartiersbus	
MF	5:07 Uhr	5:30 Uhr	
	wie Szenario 1 (19:41 Uhr)	alt. Betr. $u = NO, m = 2$ (20:00 Uhr)	
	20:00 Uhr - 0:30 Uhr alternativer Betrieb $u = G, m = 1$		
Sa	5:19 Uhr	8:00 Uhr	
	wie Szenario 1 (19:41 Uhr)	alt. Betr. $u = NO, m = 2$ (20:00 Uhr)	
	20:00 Uhr - 1:00 Uhr alternativer Betrieb $u = G, m = 1$		
SF	6:19 Uhr	6:30 Uhr	
	wie Szenario 1 (17:41 Uhr)	alt. Betr. $u = O, m = 1$ (18:00 Uhr)	
	18:00 - 0:30 Uhr alt. Betr. $u = S, m = 1$		

(alt. Betr. : alternativer Betrieb)

Tabelle A.3: Dienstplan in Szenario 1

Dienst- nr. d	VT	w	Schichtzeit	Nr. der Linienfahrten		Rüst- zeit	Leerfahr- zeit	Wende- zeit	Beförde- rungszeit	Arbeits- zeit
				242	246					
1	MF		04:50 - 13:16 Uhr	1-12, 14-18		0,3 h	0,1 h	1,3 h	5,9 h	7,6 h
2	MF		05:12 - 15:18 Uhr	13	1-13	0,3 h	0,1 h	2,5 h	5,2 h	8,1 h
3	MF		05:02 - 15:16 Uhr	19		0,3 h	0,1 h	2,6 h	5,1 h	8,1 h
4	MF		13:44 - 20:28 Uhr	20-30, 32		0,3 h	0,1 h	1,2 h	4,4 h	5,9 h
5	MF		15:44 - 21:14 Uhr	31	14-19	0,3 h	0,1 h	1,8 h	2,5 h	4,7 h
6	MF		15:44 - 00:58 Uhr	33-37		0,3 h	0,1 h	1,6 h	6,2 h	8,2 h
1	Sa		05:02 - 11:28 Uhr	1-11		0,3 h	0,2 h	1,2 h	4,0 h	5,8 h
2	Sa		07:46 - 17:18 Uhr	12-13	1-10	0,3 h	0,1 h	2,6 h	4,6 h	7,5 h
3	Sa		07:32 - 17:16 Uhr	14-17		0,3 h	0,1 h	2,4 h	5,1 h	7,9 h
4	Sa		17:44 - 21:14 Uhr	19-20	11-14	0,3 h	0,1 h	1,0 h	2,1 h	3,5 h
5	Sa		17:14 - 01:28 Uhr	18, 21-25		0,3 h	0,1 h	1,4 h	5,1 h	6,9 h
1	SF		06:02 - 15:46 Uhr	1-10		0,3 h	0,1 h	2,2 h	5,5 h	8,1 h
2	SF		16:14 - 00:58 Uhr	11-17		0,3 h	0,1 h	2,4 h	4,0 h	6,8 h
<hr/>										
VT w						$t_{\text{Rüst},w}$	$t_{\text{Leer},w}$	$t_{\text{We},w}$	$t_{\text{Bef},w}$	$t_{\text{AZ},w}$
MF						1,5 h/d	0,7 h/d	11,0 h/d	29,4 h/d	42,6 h/d
Sa						0,8 h/d	0,6 h/d	4,8 h/d	21,0 h/d	31,5 h/d
SF						0,5 h/d	0,2 h/d	4,6 h/d	9,5 h/d	14,9 h/d
<hr/>										
						$t_{\text{Rüst}}$	t_{Leer}	t_{We}	t_{Bef}	t_{AZ}
						450 h/a	209 h/a	3.290 h/a	9.053 h/a	13.228 h/a

Tabelle A.4: Dienstplan in Szenario 2

Dienst- nr. d	VT w	Schichtzeit	Nr. der Linienfahrten	Alternativer Betrieb (Gebiet)	Rüst- zeit $t_{\text{Rüst},d,w}$	Leerfahr- zeit $t_{\text{Leer},d,w}$	Wende- zeit $t_{\text{We},d,w}$	Beförde- rungszeit $t_{\text{Bef},d,w}$	Arbeits- zeit $t_{\text{AZ},d,w}$
1	MF	04:50 - 13:16 Uhr	1-12, 14-18		0,3 h	0,1 h	1,3 h	6,0 h	7,5 h
2	MF	05:13 - 15:05 Uhr		5:30 - 15:00 (N)	0,3 h	0,1 h	2,5 h	5,1 h	7,9 h
3	MF	05:02 - 15:16 Uhr	13, 19		0,3 h	0,1 h	2,4 h	5,6 h	8,3 h
4	MF	13:44 - 19:28 Uhr	20-30		0,3 h	0,1 h	1,2 h	4,0 h	5,6 h
5	MF	14:55 - 00:47 Uhr		15:00 - 0:30 (N ⁷)	0,3 h	0,1 h	2,2 h	5,5 h	8,1 h
6	MF	15:44 - 20:28 Uhr	31		0,3 h	0,1 h	1,0 h	3,3 h	4,7 h
1	Sa	05:02 - 14:46 Uhr	1-11, 13-15		0,3 h	0,2 h	1,8 h	6,5 h	8,6 h
2	Sa	07:43 - 17:05 Uhr		8:00 - 17:00 (N)	0,3 h	0,1 h	2,6 h	4,4 h	7,3 h
3	Sa	07:32 - 11:46 Uhr	12		0,3 h	0,1 h	1,5 h	1,9 h	3,7 h
4	Sa	16:55 - 01:17 Uhr		15:00 - 1:00 (N ⁷)	0,3 h	0,1 h	1,8 h	4,8 h	7,0 h
5	Sa	14:44 - 20:28 Uhr	16-20		0,3 h	0,1 h	1,2 h	4,0 h	5,6 h
1	SF	06:02 - 15:46 Uhr	1-10		0,3 h	0,1 h	2,2 h	5,6 h	8,1 h
2	SF	16:14 - 00:47 Uhr	11-12	18:00 - 0:30 (S)	0,3 h	0,1 h	1,9 h	4,8 h	7,1 h
VT w									
MF					$t_{\text{Rüst},w}$	$t_{\text{Leer},w}$	$t_{\text{We},w}$	$t_{\text{Bef},w}$	$t_{\text{AZ},w}$
					1,5 h/d	0,7 h/d	10,6 h/d	29,6 h/d	42,1 h/d
Sa					1,3 h/d	0,7 h/d	8,9 h/d	21,6 h/d	32,1 h/d
SF					0,6 h/d	0,2 h/d	4,1 h/d	10,4 h/d	15,2 h/d
					$t_{\text{Rüst}}$	t_{Leer}	t_{We}	t_{Bef}	t_{AZ}
					482 h/a	226 h/a	3.383 h/a	9.181 h/a	13.157 h/a

⁷ ab 20:00 Uhr im Bedienungsgebiet G

Tabelle A.5: Dienstplan in Szenario 3

Dienst- nr. d	VT w	Schichtzeit	Nr. der Li- nienfahrten 242	Alternativer Betrieb (Gebiet u)	Rüst- zeit $t_{\text{Rüst},d,w}$	Leerfahr- zeit $t_{\text{Leer},d,w}$	Wende- zeit $t_{\text{We},d,w}$	Beförde- rungszeit $t_{\text{Bef},d,w}$	Arbeits- zeit $t_{\text{AZ},d,w}$
1	MF	04:50 - 13:16	1-18		0,3 h	0,1 h	0,8 h	6,4 h	7,4 h
2	MF	05:13 - 15:05		5:30 - 15:00 (NO)	0,3 h	0,1 h	1,3 h	7,6 h	9,1 h
3	MF	05:13 - 14:05		5:30 - 14:00 (NO)	0,3 h	0,1 h	1,2 h	6,8 h	8,2 h
4	MF	13:14 - 19:58	19-31		0,3 h	0,1 h	0,8 h	4,8 h	5,9 h
5	MF	14:55 - 00:47		15:00 - 0:30 (NO ⁸)	0,3 h	0,1 h	1,4 h	7,2 h	9,0 h
6	MF	13:55 - 20:17		14:00 - 20:00 (NO)	0,3 h	0,1 h	1,0 h	4,5 h	5,9 h
1	Sa	05:02 - 13:46	1-14		0,3 h	0,1 h	1,7 h	5,2 h	7,2 h
2	Sa	08:43 - 16:05		9:00 - 16:00 (NO)	0,3 h	0,1 h	1,1 h	5,4 h	6,8 h
3	Sa	07:43 - 16:17		8:00 - 16:00 (NO)	0,3 h	0,1 h	1,1 h	6,3 h	7,7 h
4	Sa	14:14 - 19:48	15-20		0,3 h	0,1 h	2,1 h	2,2 h	4,7 h
5	Sa	15:55 - 01:17		16:00 - 1:00 (NO ⁸)	0,3 h	0,1 h	1,7 h	6,2 h	8,2 h
6	Sa	15:55 - 20:17		16:00 - 20:00 (NO)	0,3 h	0,1 h	1,3 h	2,4 h	4,1 h
1	SF	06:02 - 17:58	1-12		0,3 h	0,2 h	3,7 h	4,6 h	8,7 h
2	SF	06:13 - 15:05		6:30 - 15:00 (O)	0,3 h	0,1 h	2,7 h	3,7 h	6,7 h
3	SF	14:55 - 00:47		15:00 - 0:30 (O ⁹)	0,3 h	0,1 h	3,0 h	4,0 h	7,3 h
VT w									
					$t_{\text{Rüst},w}$	$t_{\text{Leer},w}$	$t_{\text{We},w}$	$t_{\text{Bef},w}$	$t_{\text{AZ},w}$
MF					1,5 h/d	0,7 h/d	6,4 h/d	37,1 h/d	45,4 h/d
Sa					1,5 h/d	0,7 h/d	9,0 h/d	27,7 h/d	38,6 h/d
SF					0,8 h/d	0,5 h/d	9,5 h/d	12,3 h/d	22,7 h/d
					$t_{\text{Rüst}}$	t_{Leer}	t_{We}	t_{Bef}	t_{AZ}
					365 h/a	241 h/a	2.668 h/a	11.509 h/a	14.802 h/a

⁸ ab 20:00 Uhr im Bedienungsgebiet G⁹ ab 18:00 Uhr im Bedienungsgebiet G

FahrzeugausstattungTabelle A.6: Ausstattungsmerkmale der Fahrzeugtypen i , nach Friedrich, Schlaich & Schleupen 2007

Technische Ausstattung	j	f_j	y_j
Kommunikationsanlage	1	0,10	1
Fahrkartenverkaufssysteme	2	0,03	1
Fahrtziel- und Haltestellenanzeige	3	0,04	1
Fahrgastzählssysteme	4	0,01	0
Videoüberwachung	5	0,01	0
Einstieghilfe	6	0,10	1
Vollklimatisierung	7	0,10	0
Aufdachklimageräte	8	0,04	1
Zusätzliche Fahrgasttür	9	0,10	0
Abgasnachbehandlungssysteme	10	0,03	1
Erdgasantrieb	11	0,15	0

Fahrkartenpreise

Tabelle A.7: Preise und Häufigkeiten der Fahrkarten (Daten aus Follmer et al. 2009; VVS 2016 c; MSI BW 2016)

Fahrkartenart	Preis	Fahr- ten	Preis je Fahrt	s	p_s	q_s
Einzelfahrschein	2,40 €	1	2,40 €	1	2,33 €	18 %
Tageskarte	6,80 €	3	2,27 €			
Mehrfachkarte	9,10 €	4	2,28 €	2	2,28 €	8 %
Wochenkarte	21,60 €	12	1,80 €	3	1,52 €	12 %
Monatskarte	64,30 €	40	1,61 €			
Monatskarte Schüler	46,00 €	40	1,15 €			
Monatskarte im Abo	53,58 €	40	1,34 €	4	1,34 €	39 %
Jahreskarte	643,00 €	480	1,34 €			
Jobticket	50,90 €	40	1,27 €	5	1,05 €	17 %
Semesterticket	199,00 €	240	0,83 €			
anderes Ticket, davon				6	0,84 €	6 %
Nachweis Behinderung	-	-	0,00 €			2,8 %
sonstige	-	-	1,58 €			3,2 %

Fahrgastzahlen

Tabelle A.8: Anzahl der Fahrgäste je Linienfahrt (Werte für Verkehrstag MF aus Gebhardt, Sippel & Ulmer 2016)

Zeitinter- vall h	Linie 242				Linie 246				Linie 247			
	$x_{MF,242,h}$	$x_{Sa,242,h}$	$x_{SF,242,h}$	$x_{MF,246,h}$	$x_{Sa,246,h}$	$x_{SF,246,h}$	$x_{MF,247,h}$	$x_{Sa,247,h}$	$x_{SF,247,h}$	$x_{MF,247,h}$	$x_{Sa,247,h}$	$x_{SF,247,h}$
5	6	2	0	3	0	0	6	0	0			
	17	6	0	0	0	0	5	0	0			
	13	5	0									
6	15	11	5	3	0	0	11	0	6			
	23	17	8	8	0	0	19 ¹⁰	0	10			
	32 ¹⁰	23	12									
7	106 ¹⁰	107	53	18 ¹⁰	0	0	42 ¹⁰	0	0			
	13	13	7	17 ¹⁰	4	0	6	0	0			
	10	10	5	2	2	0	7	7	7			
8	14	14	7									
	32	32	16	7	7	0	11	11	0			
9	14	14	7									
	14	14	7	9	9	0	6	6	6			
10	15	15	8									
	19	10	10	5	5	0	5	5	0			
11	17	9	9									
	15	8	8	3	3	0	29	29	29			
12	36	18	18									
Fortsetzung auf nächster Seite												

¹⁰ Fahrten enden zwischen 7:01 und 8:00 Uhr, Fahrgäste bilden x_{Ausb} .

Zeitinter- vall h	Fortsetzung von voriger Seite									
	Linie 242					Linie 246				
	$x_{MF,242,h}$	$x_{Sa,242,h}$	$x_{SF,242,h}$	$x_{MF,246,h}$	$x_{Sa,246,h}$	$x_{SF,246,h}$	$x_{MF,247,h}$	$x_{Sa,247,h}$	Linie 247	
									$x_{SF,247,h}$	$x_{SF,247,h}$
13	26	13	13	5	5	0	8	8	0	0
	47	24	24							
14	17	9	9	7	7	0	14	14	14	14
	32	16	16							
15	36	18	18	5	5	0	12	12	0	0
	23	12	12							
16	30	15	15	6	6	0	9	5	5	5
	24	12	12							
17	18	9	9	8	8	0	8	4	0	0
	14	7	7							
18	13	7	7	2	2	0	6	3	3	3
	13	7	7							
19	19	10	0	3	3	0	4	4	0	0
	9	5	0							
20	8	8	8		3	0	2	2	2	2
21	6	6	0				3	3	0	0
22	7	7	7				1	1	1	1
23	3	3	3				1	1	0	0
24	3	3	3					1 ¹¹		
Summe	759	513	346	114	69	0	236	126	82	82

¹¹ Wert ist geschätzt, da dieser Wert mit Formel 4.4.1 aufgrund des fehlenden Angebots am VT MF in diesem Zeitintervall nicht berechnet werden kann.

Zahlungsströme

Tabelle A.9: Zahlungsströme in Szenario 1

Periode t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Summe (diskontiert)
Anschaffung Fahrzeuge	-690.000													690.000
Rüstung Fahrzeuge	0													0
Infrastruktur	0													0
Personal Fahrdienst		-288.277	-288.277	-288.277	-288.277	-288.277	-288.277	-288.277	-288.277	-288.277	-288.277	-288.277	-288.277	3.105.561
Personal Fahrtanmeldungen		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Antrieb		-82.887	-83.458	-84.040	-84.635	-85.242	-85.862	-86.495	-87.141	-87.800	-88.474	-89.162	-89.864	927.841
Instandhaltung		-17.627	-17.627	-17.627	-17.627	-17.627	-17.627	-17.627	-17.627	-17.627	-17.627	-17.627	-17.627	189.896
Reifen		-29.830	-29.830	-29.830	-29.830	-29.830	-29.830	-29.830	-29.830	-29.830	-29.830	-29.830	-29.830	321.359
Fahrzeugausstattung		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tägliche Versorgung		-19.348	-19.348	-19.348	-19.348	-19.348	-19.348	-19.348	-19.348	-19.348	-19.348	-19.348	-19.348	208.432
Overhead		-93.384	-93.384	-93.384	-93.384	-93.384	-93.384	-93.384	-93.384	-93.384	-93.384	-93.384	-93.384	1.006.007
Tilgung und Zinsen		-63.832	-62.483	-61.135	-59.786	-58.438	-57.089	-55.741	-54.392	-53.044	-51.695	-50.347	-48.998	610.668
Versicherung		-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	64.637
Steuern		-30.235	-30.235	-30.235	-30.235	-30.235	-30.235	-30.235	-30.235	-30.235	-30.235	-30.235	-30.235	325.713
Zuschüsse	118.200													118.200
Fremdkapitalaufnahme	571.800													571.800
Umsatzerlöse Fahrkarten		505.351	505.351	505.351	505.351	505.351	505.351	505.351	505.351	505.351	505.351	505.351	505.351	5.444.065
Ausgleichszahlungen (SGB IX)		14.150	14.150	14.150	14.150	14.150	14.150	14.150	14.150	14.150	14.150	14.150	14.150	152.434
Ausgleichszahlungen (PBefG)		62.171	62.171	62.171	62.171	62.171	62.171	62.171	62.171	62.171	62.171	62.171	62.171	669.756
Liquidationserlös												41.400		33.818
Barwert Auszahlungen	0	-48.917	-47.347	-45.827	-44.356	-42.934	-41.557	-40.227	-38.940	-37.698	-36.497	-35.338	-402	
Barwert Einzahlungen	-690.000	-620.866	-609.735	-598.814	-588.100	-577.588	-567.275	-557.156	-547.229	-537.490	-527.935	-518.561	-509.365	
Barwert	690.000	571.949	562.388	552.987	543.744	534.654	525.717	516.930	508.289	499.792	491.438	483.223	508.964	
Kapitalwert Auszahlungen	7.450.114													
Kapitalwert Einzahlungen	6.990.074													
Kapitalwert	-460041													

Tabelle A.10: Zahlungsströme in Szenario 2

Periode t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Summe diskontiert
Anschaffung Fahrzeuge	-595.000													595.000
Rüstung Fahrzeuge	-2.000													2.000
Infrastruktur	-100.000													100.000
Personal Fahrdienst		-285.336	-285.336	-285.336	-285.336	-285.336	-285.336	-285.336	-285.336	-285.336	-285.336	-285.336	-285.336	3.073.880
Personal Fahrtanmeldungen		-5.519	-5.519	-5.519	-5.519	-5.519	-5.519	-5.519	-5.519	-5.519	-5.519	-5.519	-5.519	59.455
Antrieb		-64.112	-64.553	-65.004	-65.464	-65.933	-66.413	-66.902	-67.402	-67.912	-68.433	-68.965	-69.508	717.669
Instandhaltung		-17.189	-17.189	-17.189	-17.189	-17.189	-17.189	-17.189	-17.189	-17.189	-17.189	-17.189	-17.189	185.173
Reifen		-29.731	-29.731	-29.731	-29.731	-29.731	-29.731	-29.731	-29.731	-29.731	-29.731	-29.731	-29.731	320.284
Fahrzeugausstattung		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.528
Tägliche Versorgung		-19.373	-19.373	-19.373	-19.373	-19.373	-19.373	-19.373	-19.373	-19.373	-19.373	-19.373	-19.373	208.700
Overhead		-92.388	-92.388	-92.388	-92.388	-92.388	-92.388	-92.388	-92.388	-92.388	-92.388	-92.388	-92.388	995.283
Tilgung und Zinsen		-66.813	-65.401	-63.990	-62.578	-61.167	-59.755	-58.344	-56.932	-55.521	-54.109	-52.698	-51.286	639.183
Versicherung		-5.174	-5.174	-5.174	-5.174	-5.174	-5.174	-5.174	-5.174	-5.174	-5.174	-5.174	-5.174	55.738
Steuern		-31.551	-31.551	-31.551	-31.551	-31.551	-31.551	-31.551	-31.551	-31.551	-31.551	-31.551	-31.551	339.899
Zuschüsse	98.500													98.500
Fremdkapitalaufnahme	598.500													598.500
Umsatzerlöse Fahrkarten		527.360	527.360	527.360	527.360	527.360	527.360	527.360	527.360	527.360	527.360	527.360	527.360	5.681.168
Ausgleichszahlungen (SGB IX)		14.766	14.766	14.766	14.766	14.766	14.766	14.766	14.766	14.766	14.766	14.766	14.766	159.073
Ausgleichszahlungen (PBefG)		57.264	57.264	57.264	57.264	57.264	57.264	57.264	57.264	57.264	57.264	57.264	57.264	616.895
Liquidationserlös													36.700	29.979
Barwert Auszahlungen		-606.869	-595.786	-584.914	-574.247	-565.621	-553.516	-543.444	-533.563	-523.870	-516.050	-505.032	-495.881	
Barwert Einzahlungen		589.371	579.519	569.832	560.307	550.941	541.731	532.676	523.772	515.017	506.408	497.943	519.598	
Barwert		-17.498	-16.267	-15.082	-13.940	-14.680	-11.784	-10.768	-9.791	-8.853	-9.643	-7.089	23.717	
Kapitalwert Auszahlungen		7.295.792												
Kapitalwert Einzahlungen		7.184.115												
Kapitalwert		-111.677												

Tabelle A.11: Zahlungsströme in Szenario 3

Periode t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Summe diskontiert
Anschaffung Fahrzeuge	-500.000													500.000
Rüstung Fahrzeuge	-4.000													4.000
Infrastruktur	-100.000													100.000
Personal Fahrdienst		-322.405	-322.405	-322.405	-322.405	-322.405	-322.405	-322.405	-322.405	-322.405	-322.405	-322.405	-322.405	3.473.217
Personal Fahrtaunmeldungen		-13.882	-13.882	-13.882	-13.882	-13.882	-13.882	-13.882	-13.882	-13.882	-13.882	-13.882	-13.882	149.552
Antrieb		-65.907	-66.361	-66.824	-67.297	-67.779	-68.272	-68.776	-69.289	-69.814	-70.350	-70.896	-71.455	737.766
Instandhaltung		-20.904	-20.904	-20.904	-20.904	-20.904	-20.904	-20.904	-20.904	-20.904	-20.904	-20.904	-20.904	225.199
Reifen		-38.286	-38.286	-38.286	-38.286	-38.286	-38.286	-38.286	-38.286	-38.286	-38.286	-38.286	-38.286	412.445
Fahrzeugausstattung		0	0	0	0	-4.000	0	0	0	0	-4.000	0	0	7.056
Tägliche Versorgung		-25.428	-25.428	-25.428	-25.428	-25.428	-25.428	-25.428	-25.428	-25.428	-25.428	-25.428	-25.428	273.931
Overhead		-115.305	-115.305	-115.305	-115.305	-115.305	-115.305	-115.305	-115.305	-115.305	-115.305	-115.305	-115.305	1.242.160
Tilgung und Zinsen		-58.630	-57.391	-56.153	-54.914	-53.675	-52.437	-51.198	-49.960	-48.721	-47.482	-46.244	-45.005	560.901
Versicherung		-4.348	-4.348	-4.348	-4.348	-4.348	-4.348	-4.348	-4.348	-4.348	-4.348	-4.348	-4.348	46.838
Steuern		-33.558	-33.558	-33.558	-33.558	-33.558	-33.558	-33.558	-33.558	-33.558	-33.558	-33.558	-33.558	361.511
Zuschüsse	78.800													78.800
Fremdkapitalaufnahme	525.200													525.200
Umsatzerlöse Fahrkarten		560.892	560.892	560.892	560.892	560.892	560.892	560.892	560.892	560.892	560.892	560.892	560.892	6.042.403
Ausgleichszahlungen (SGB IX)		15.705	15.705	15.705	15.705	15.705	15.705	15.705	15.705	15.705	15.705	15.705	15.705	169.187
Ausgleichszahlungen (PBefG)		70.119	70.119	70.119	70.119	70.119	70.119	70.119	70.119	70.119	70.119	70.119	70.119	755.376
Liquidationserlös													32.000	26.140
Barwert Auszahlungen	-604.000	-686.974	-674.732	-662.716	-650.922	-643.023	-627.985	-616.835	-605.890	-595.149	-587.986	-574.260	-564.105	-497.471
Barwert Einzahlungen	604.000	635.906	625.276	614.824	604.547	594.441	584.505	574.734	565.127	555.680	546.392	537.258	554.417	8.094.577
Barwert	0	-51.069	-49.456	-47.892	-46.376	-48.582	-43.481	-42.101	-40.763	-39.469	-41.594	-37.001	-9.688	7.597.106
Kapitalwert Auszahlungen	8.094.576													
Kapitalwert Einzahlungen	7.597.105													
Kapitalwert	-497.471													

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und nicht veröffentlicht. Ich bin mir bewusst, dass eine unwahre Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Dresden, 14.12.2016

Stefanie Bültmann